

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE UNA PLANTA DE
CONCRETO EN PROYECTOS DE VIVIENDA ECONÓMICA MASIVA
APLICANDO CONCEPTOS DE LA FILOSOFÍA *LEAN CONSTRUCTION***

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORA:

Antonella Krhistel Castillo Quispe

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

William Daniel Cano Carreño

ASESOR:

Luis Humberto Bravo Salomón

Lima, agosto, 2023

Informe de similitud

Yo, Luis Humberto Bravo Salomón,
docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia
Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada
“Optimización de la productividad de una planta de concreto en proyectos de vivienda económica
masiva aplicando conceptos de la filosofía *Lean Construction*”,
de los autores

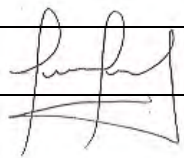
Antonella Krhistel Castillo Quispe,

William Daniel Cano Carreño,

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 5%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 31/10/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: San Miguel 31 de octubre del 2023

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Bravo Salomón, Luis Humberto</u>	
DNI: 06994878	Firma 
ORCID: 0000-0003-1476-9710	

Resumen

El trabajo de tesis posee el principal objetivo de demostrar que al emplear herramientas de la Construcción sin pérdidas se puede obtener mejoras en la productividad de las actividades y procesos del sector construcción. Asimismo, la reducción de los costos unitarios de las actividades y procesos constructivos es otro aspecto adicional para tener en cuenta. En esta oportunidad, se ha elegido analizar la actividad de vaciado de concreto tradicional, que consta de usar concreto premezclado y bomba, y se aplicarán dos conceptos de la filosofía *Lean Construction* los cuales son el análisis de desperdicios y el círculo de Deming o ciclo PHVA para mejorar el proceso constructivo. La información empleada ha sido recolectada de varias pruebas y mediciones en el proceso constructivo mencionado de los sótanos para estacionamientos del proyecto “Condominio Multifamiliar Villanova” ubicado en el distrito del Callao, en Perú.

Como resultado del trabajo de tesis se comprueba que, al emplear las herramientas y conceptos mencionados, se logra un aumento de la productividad en los procesos constructivos que impacta directamente en la reducción de costos del proceso. Al reducir los costos, el producto final se comercializará a menor precio por lo que es más competitivo económicamente en el mercado. Finalmente, las ventas aumentarán y mejorará la situación económica del sector construcción.

Dedicatoria

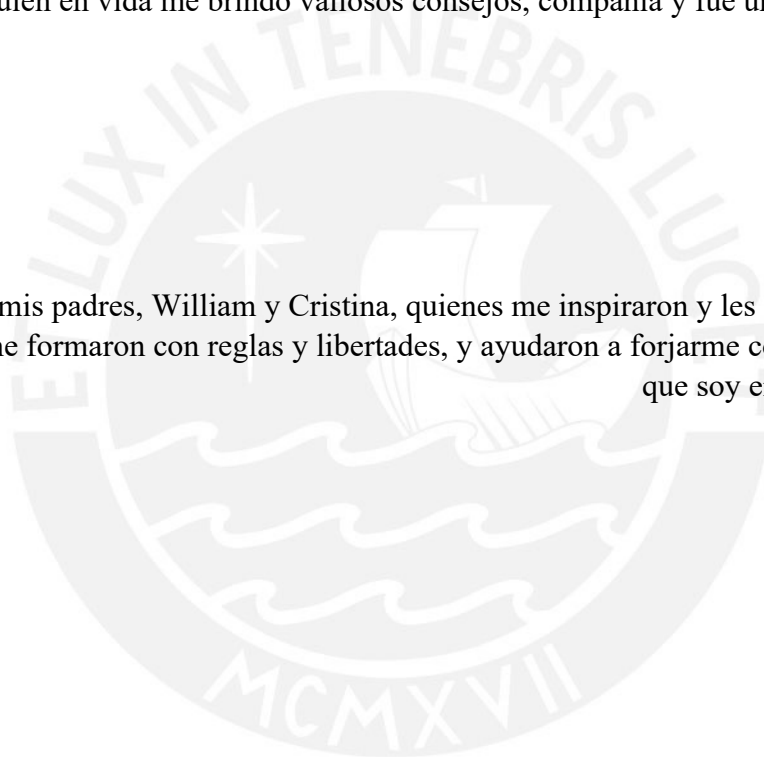
A nuestro asesor, Luis Humberto Bravo Salomón, agradecemos el esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional para lograr el éxito del presente trabajo de tesis.

A mis padres, Yuri Castillo y Antonia Quispe, por todo el esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional brindado en mi formación profesional y personal. A mi abuela, Virginia, quien en vida me brindo valiosos consejos, compañía y fue una guía para mi

Antonella C.

Dedicado a mis padres, William y Cristina, quienes me inspiraron y les debo todos mis logros, que me formaron con reglas y libertades, y ayudaron a forjarme como la persona que soy en la actualidad.

William C.



Índice

1. Situación problemática y objetivos.....	- 7 -
1.1 Economía actual	- 7 -
1.2 Sector construcción.....	- 8 -
1.3 Objetivos.....	- 9 -
1.3.1 Objetivo general	- 9 -
1.3.2 Objetivos específicos	- 9 -
1.4 Alcance	- 10 -
1.5 Justificación	- 13 -
1.6 Metodología.....	- 13 -
2. Marco teórico.....	- 16 -
2.1 Antecedentes.....	- 16 -
2.1.1 Antecedentes nacionales	- 16 -
2.1.2 Antecedentes internacionales	- 17 -
2.2 Bases teóricas	- 19 -
2.2.1 Concreto premezclado.....	- 19 -
2.2.2 Herramientas de la filosofía <i>Lean Construction</i>	- 31 -
3. Características técnicas de equipos y materiales del proyecto “Condominio Multifamiliar Villanova”	- 35 -
3.1 Planta de concreto.....	- 35 -
3.2 Retroexcavadora	- 38 -
3.3 Concreto.....	- 40 -
4. Evolución de los procesos de vaciado en sótanos del proyecto “Condominio Multifamiliar Villanova”	- 45 -
4.1 Generalidades	- 45 -
4.2 Caso N°1: Concreto premezclado + Bomba.....	- 46 -
4.3 Caso N°2: Planta de concreto 2 + Bomba	- 47 -
4.4 Caso N°3: Planta de concreto 2 + Retroexcavadora 2 + Chute.....	- 54 -
4.5 Caso N°4: Planta de concreto 1 + Retroexcavadora 2 + Chute.....	- 62 -
4.6 Resultados.....	- 74 -
Conclusiones.....	- 77 -
Recomendaciones	- 79 -
Bibliografía.....	- 80 -

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Variaciones porcentuales anuales reales con respecto al PBI	- 7 -
Gráfico 2. Variaciones porcentuales anuales reales con respecto al PBI Construcción-	8 -
Gráfico 3. Evolución Mensual de la Actividad del Sector Construcción (2020 al 2022) .-	9 -
Gráfico 4. Número de plantas de concreto por empresa.....	- 25 -
Gráfico 5. Resumen de empresas nacionales de concreto premezclado en el Perú....	- 26 -
Gráfico 6. Resumen de empresas nacionales de concreto premezclado en el Perú....	- 27 -



Índice de Figuras

Figura 1. Planta de un edificio típico de 6 departamentos por piso.....	- 10 -
Figura 2. Planta de los estacionamientos en sótanos.	- 11 -
Figura 3. Planta de lobby de recepción del proyecto Villanova Etapa 3.....	- 11 -
Figura 4. Planta de sala de usos múltiples del proyecto Villanova Etapa 3.	- 12 -
Figura 5. Planta de áreas comunes del proyecto Villanova Etapa 3.....	- 12 -
Figura 6. Planimetría del proyecto Villanova Etapa 3.....	- 12 -
Figura 7. Secuencia del trabajo de tesis.....	- 15 -
Figura 8. Planta dosificadora y mixer de la compañía UNICON.....	- 20 -
Figura 9. Planta mezcladora instalada por la empresa UNICON	- 20 -
Figura 10. Secuencia trabajo en una planta dosificadora o mezcladora.....	- 21 -
Figura 11. Los ocho desperdicios de la construcción.....	- 32 -
Figura 12. Ciclo de mejora continua.	- 33 -
Figura 13. Planta de concreto Piccini RBX 1500.....	- 36 -
Figura 14. Componentes y accesorios de la planta de concreto Piccini RBX 1500...-	36 -
Figura 15. Zonas de carga de cemento y acopio de agregados.....	- 37 -
Figura 16. Retroexcavadora descargando big bag de cemento	- 38 -
Figura 17. Retroexcavadora JCB 3C	- 38 -
Figura 18. Capacidad del cargador de la retroexcavadora JCB 3C.....	- 39 -
Figura 19. Dimensiones del cargador de la retroexcavadora JCB 3C.....	- 39 -
Figura 20. Capacidad de la horquilla de la retroexcavadora JCB 3C.....	- 40 -
Figura 21. Dimensiones de la horquilla de la retroexcavadora JCB 3C.....	- 40 -
Figura 22. Dosificación de concreto para el proyecto	- 41 -
Figura 23. Preparación de testigos en campo	- 42 -
Figura 24. Transporte de testigos en cajones individuales	- 43 -
Figura 25. Control de temperatura en el concreto fresco	- 43 -
Figura 26. Medición del asentamiento (slump) del concreto	- 44 -
Figura 27. Planimetría del proyecto Villanova – 5 Etapas	- 45 -
Figura 28. Modelo de estacionamientos, cisternas y cuarto de bombas en sótanos...-	46 -
Figura 29. Análisis de costo unitario para el caso n°1	- 47 -
Figura 30. Fotografía del encofrado de techo del sótano 1 de Villanova Etapa 3.....	- 49 -
Figura 31. Análisis de costo unitario del caso n°2	- 50 -

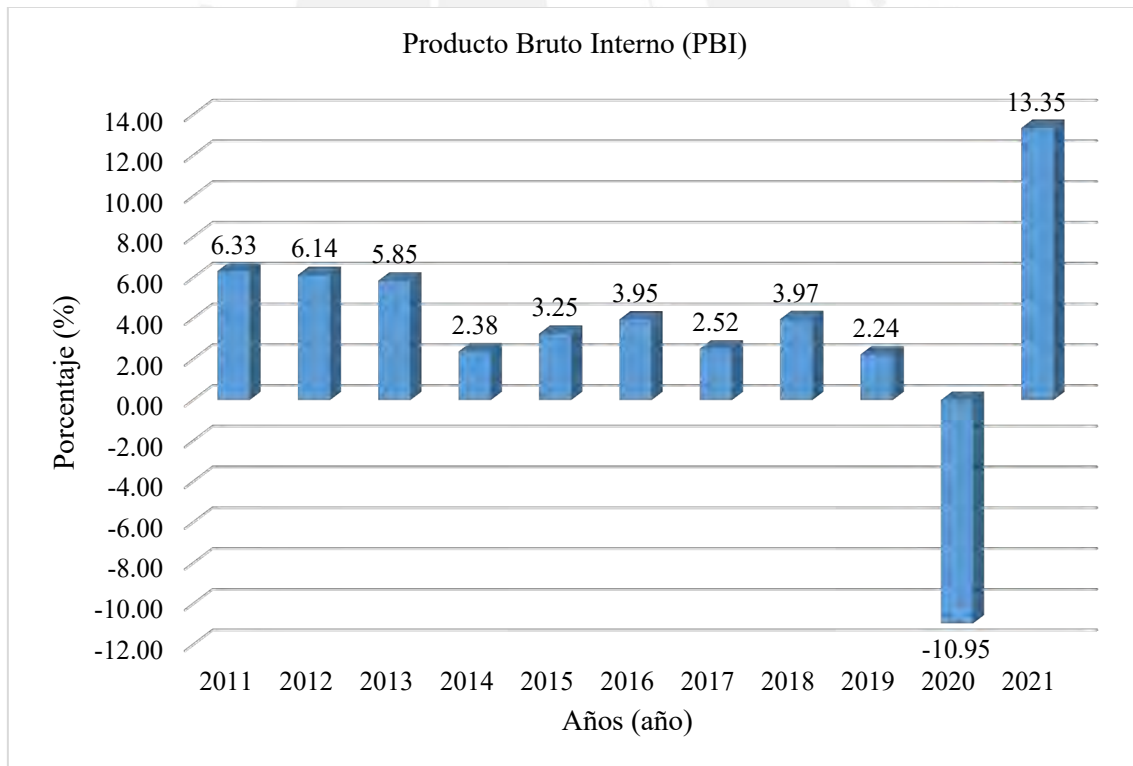
Figura 32. Costo de hora hombre en el proyecto Villanova con todos los beneficios incluidos según tabla salarial de CAPECO	- 50 -
Figura 33. Fotografía de la retroexcavadora 2 vaciando concreto para la losa de techo del sótano 2 de Villanova Etapa 3	- 56 -
Figura 34. Vaciado de techo del sótano 2 de Villanova Etapa 3	- 57 -
Figura 35. Fotografía del vaciado de concreto con el chute	- 58 -
Figura 36. Análisis de costo unitario del caso n°3	- 59 -
Figura 37. Retroexcavadora esperando ser atendida por la planta de concreto centralizada	- 63 -
Figura 38. Dumper transportando 0.9 metros cúbicos de concreto	- 64 -
Figura 39. Vaciado con chute, embudo y canaletas	- 65 -
Figura 40. Embudo que recibe concreto del chute y lo transporta hacia las canaletas-	65 -
Figura 41. Concreto transportado por gravedad en canaletas.....	- 66 -
Figura 42. Elevación de vaciado con equipos para análisis	- 67 -
Figura 43. Cronograma macro de vaciados propuesto	- 68 -
Figura 44. Horarios de vaciado propuestos	- 69 -
Figura 45. Vaciado de muro de sótano 1 con chute.....	- 69 -
Figura 46. Análisis de costo unitario del caso n° 4	- 70 -
Figura 47. Resumen de los desperdicios en cada caso de estudio	- 74 -
Figura 48. Comparación en base a costo de recursos de cada caso de estudio	- 75 -
Figura 49. Ahorro en base al costo unitario con respecto al estado del arte (caso 1).-	75 -

1. Situación problemática y objetivos

1.1 Economía actual

En la última década en el Perú, la economía ha logrado un crecimiento continuo, en promedio de 4,50%, lo cual ha posicionado al país como líder del crecimiento económico entre los países Sudamérica como Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Uruguay. De esta manera, el crecimiento económico ha demostrado resiliencia ante los impactos negativos, como la pandemia del Covid-19, en todo el país y el mundo, sin embargo, en el año 2021 se logró un crecimiento en el PBI de este sector en un 3,8% (Banco Central de Reserva del Perú, 2021). Para el año 2022 se ha estimado una proyección negativa de 1,8% por la situación política en el país según Capeco (2022) y estima que en el Perú continuará un decrecimiento económico entre el periodo del 2020 y 2023, debido a la incertidumbre política que se refleja en la ausencia del restablecimiento de la confianza de los actores privados para la inversión en nuevos proyectos como, por ejemplo, en el Sector de Construcción y Minería.

Gráfico 1. Variaciones porcentuales anuales reales con respecto al PBI



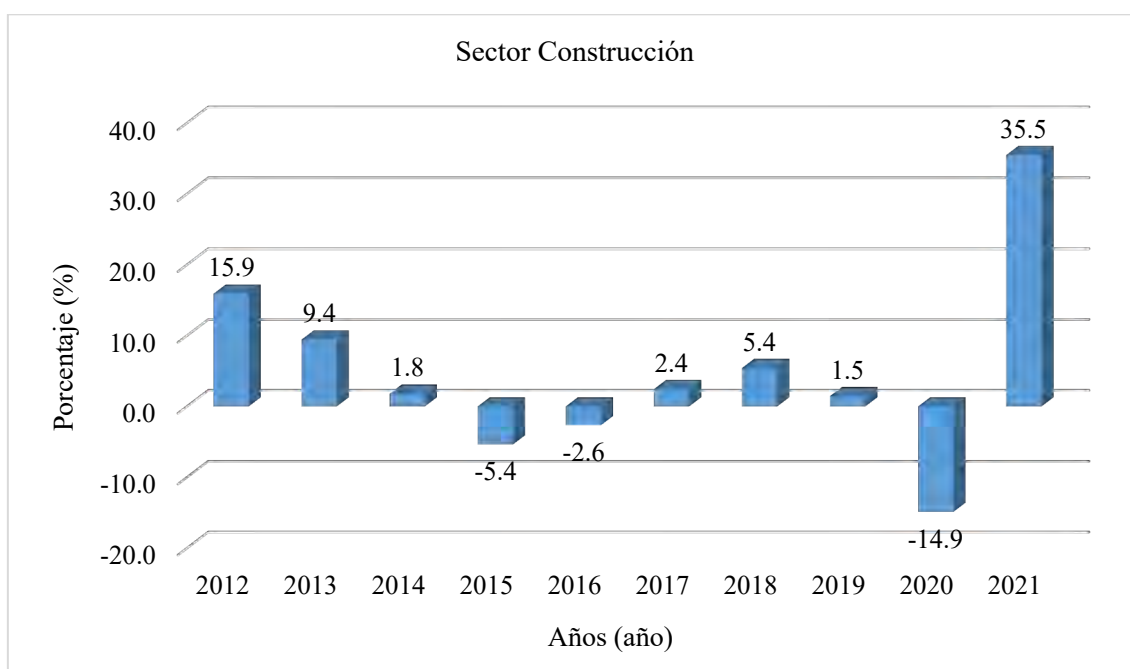
Nota: Datos obtenidos desde INEI.

Fuente: Elaboración propia.

1.2 Sector construcción

De igual manera a la economía peruana, en la última década, el sector de construcción ha logrado un crecimiento continuo, a excepción del año 2020, en el que, a causa de la Covid-19, generó que la nación atravesase por un momento de estancamiento económico o recesión. Sin embargo, el crecimiento del sector construcción en el año 2021 ha sido superior al resto de los sectores que aportan al PBI debido a que el gobierno peruano impulsó los bonos en vivienda y la liberación de fondos como la AFP y la CTS.

Gráfico 2. Variaciones porcentuales anuales reales con respecto al PBI Construcción



Nota: Datos obtenidos desde INEI.

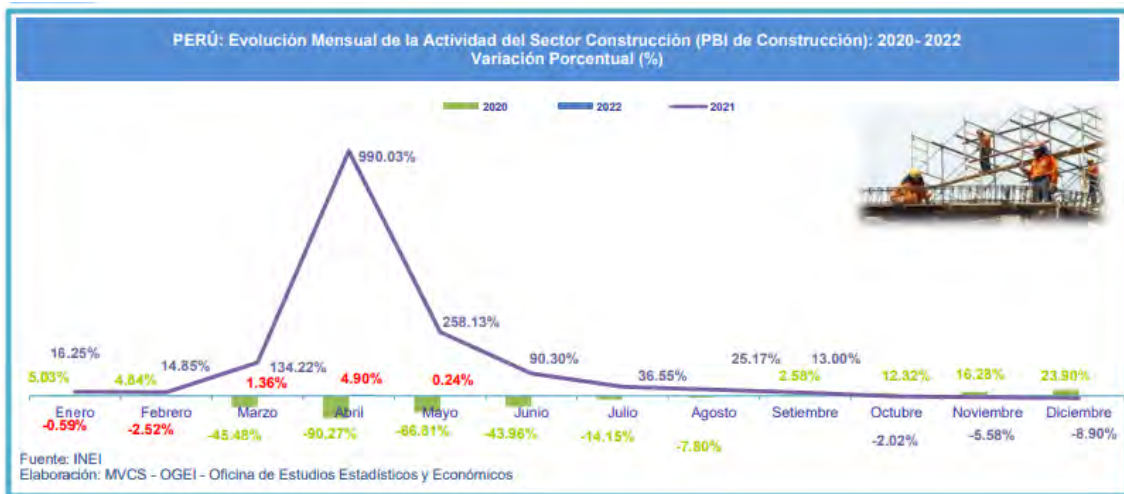
Fuente: Elaboración propia.

Las causas al crecimiento en mención, con respecto al periodo del 2019 al 2022, son los siguientes:

- Gasto de inversión en obras públicas: Desarrollo de proyectos mineros, de hidrocarburos y de infraestructura como los siguientes proyectos: ampliación del terminal portuario General San Martín, proyecto Quellaveco y la nueva refinería de Talara.
- Gasto de inversión en obras privadas: Construcción de centros educativos, viviendas, centros comerciales, edificaciones para oficinas, fábricas industriales, entre otros. Unos ejemplos de estos proyectos son las obras de infraestructura: infraestructura para los juegos Panamericanos, la Línea 2 del metro de Lima, ampliación del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez y la modernización de la siderúrgica de Aceros Arequipa.

- Recuperación del consumo interno de cemento: 2017 (6,59%), 2018 (4,10%) y 2019 (5,80%), 2020 (1,60) y 2021 (6,44).
- La evolución de colocación de créditos hipotecarios, otorgados por las instituciones financieras, con respecto a las viviendas sociales desembolsados por el Fondo MIVIVIENDA, cuyo mayor crecimiento se debe al Bono Verde y a la liberación de los fondos como del AFP y la CTS en el 2020. En el 2021, se obtuvo un crecimiento de 7,50% mayor con respecto al 2020 que sufrió la desaceleración económica por la Covid-19, según Superintendencia de Banca, Seguro y AFP (SBS).

Gráfico 3. Evolución Mensual de la Actividad del Sector Construcción (2020 al 2022)



Nota. Elaborado por MVCS – OGEI – Oficina de Estudios Estadísticos y Económicos.
Fuente: INEI.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Verificar que con una planta de concreto se puede abastecer a un proyecto de vivienda económica masiva (viviendas sociales) analizando las mejoras en la productividad con conceptos de la filosofía *Lean Construction*.

1.3.2 Objetivos específicos

El objetivo general en mención se logrará a través del cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

- Analizar las diferencias entre implementar una planta de concreto centralizada, y la distribución de concreto premezclado para eliminar los subcontratos, para finalmente evaluar la posibilidad de que existan ahorros

- Realizar un análisis de desperdicios en los diferentes casos presentados y efectuar una propuesta a través del ciclo de Deming (mejora continua)
- Efectuar un análisis comparativo de costos y presupuestos con respecto a 4 modalidades de vaciados de concreto en los sótanos para estacionamientos, depósitos, cisternas y cuarto de bombas

1.4 Alcance

Esta investigación ha sido enfocada para proyectos de desarrollo horizontal, los cuales se caracterizan por extenderse de manera exclusiva sobre un terreno, urbanización o complejo constructivo. Específicamente, se enfocará en el Condominio Multifamiliar Villanova, ubicado en el Callao y en el proceso de ejecución de vaciado de sótanos. En estos sótanos constan de elementos de concreto como losas contra terreno, losas suspendidas, muros, columnas con ábacos y vigas.

El proyecto “Condominio Multifamiliar Villanova” es un proyecto que consta de 5 etapas y cada etapa consta de lo siguiente:

- De 6 a 8 edificios multifamiliares de 9 a 12 pisos con plateas de cimentación. A continuación, se mostrará la planta típica de un edificio de 6 departamentos.

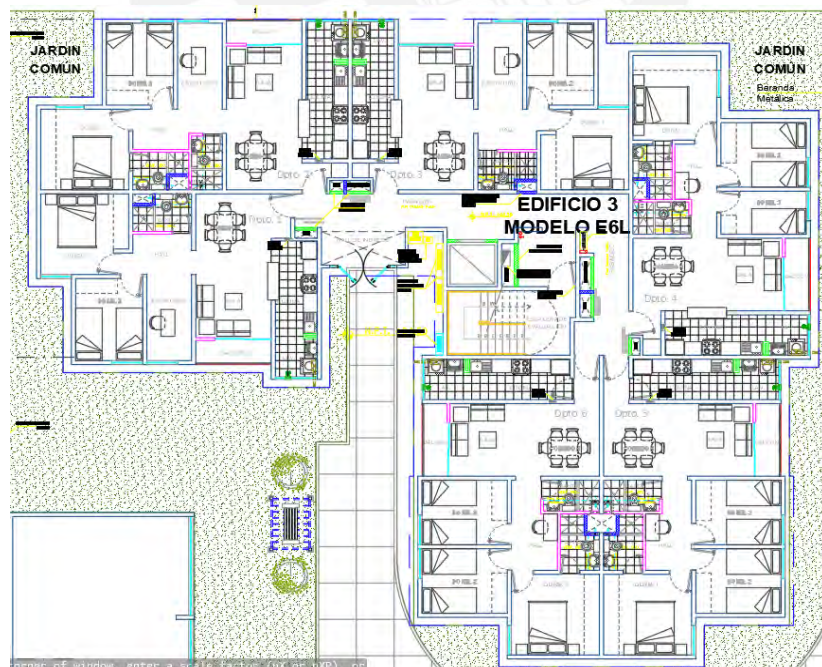


Figura 1. Planta de un edificio típico de 6 departamentos por piso.
Fuente: Cumbres.

- Estacionamiento a nivel y en dos sótanos que contienen las cisternas y cuarto de bombas. A continuación, en la figura 2, se puede apreciar la planta del sótano 1 donde están los estacionamientos, cuarto de acopio, estacionamiento de bicicletas y depósitos.

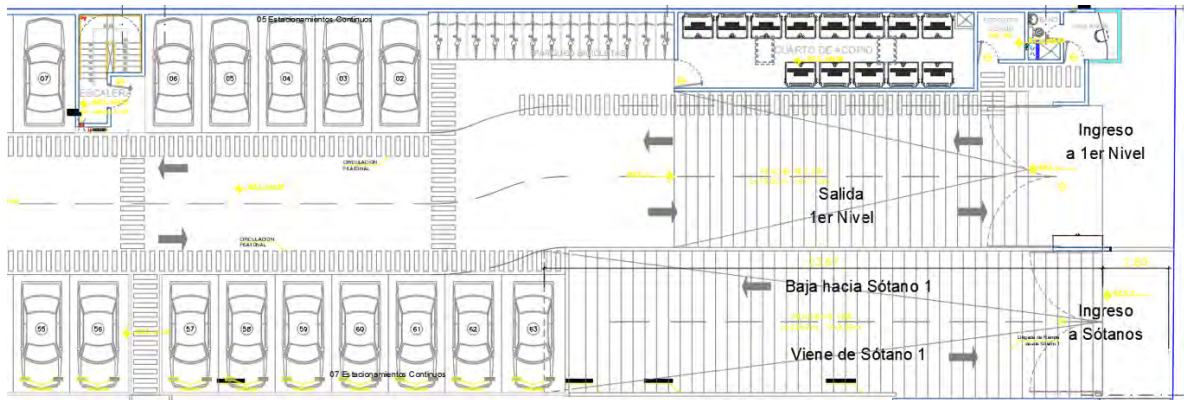


Figura 2. Planta de los estacionamientos en sótanos.

Fuente: Cumbres.

- Áreas comunes diversas (recepción, sala de uso múltiple, juegos para niños, gimnasio, etc). A continuación, en la figura 3, se puede ver la planta del lobby de recepción de la etapa 3 del condominio; en la figura 4, se observa la planta del salón de usos múltiples y la sala de ejercicios; en la figura 5, la planta de las áreas comunes; y en la figura 6, se observa la planimetría del proyecto Villanova etapa 3.

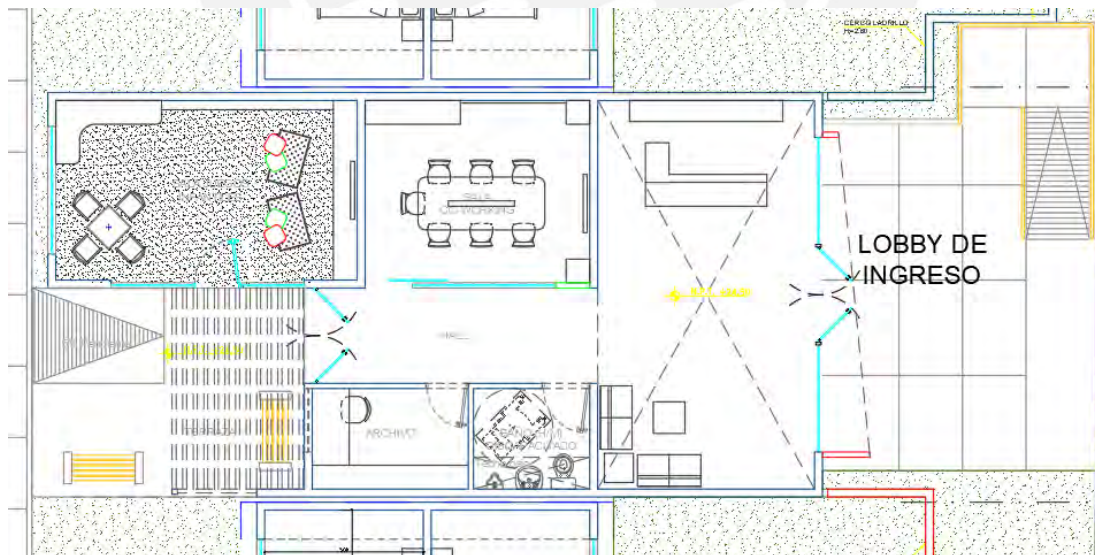


Figura 3. Planta de lobby de recepción del proyecto Villanova Etapa 3.

Fuente: Cumbres.



Figura 4. Planta de sala de usos múltiples del proyecto Villanova Etapa 3.
Fuente: Cumbres.

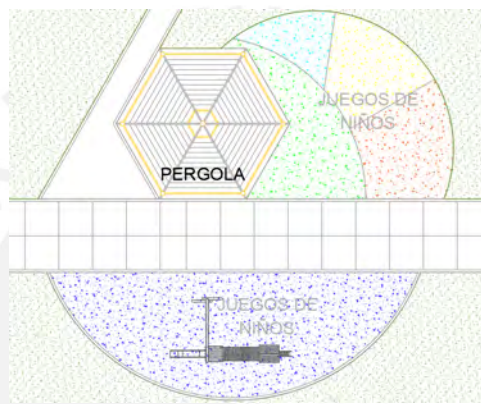


Figura 5. Planta de áreas comunes del proyecto Villanova Etapa 3.
Fuente: Cumbres.

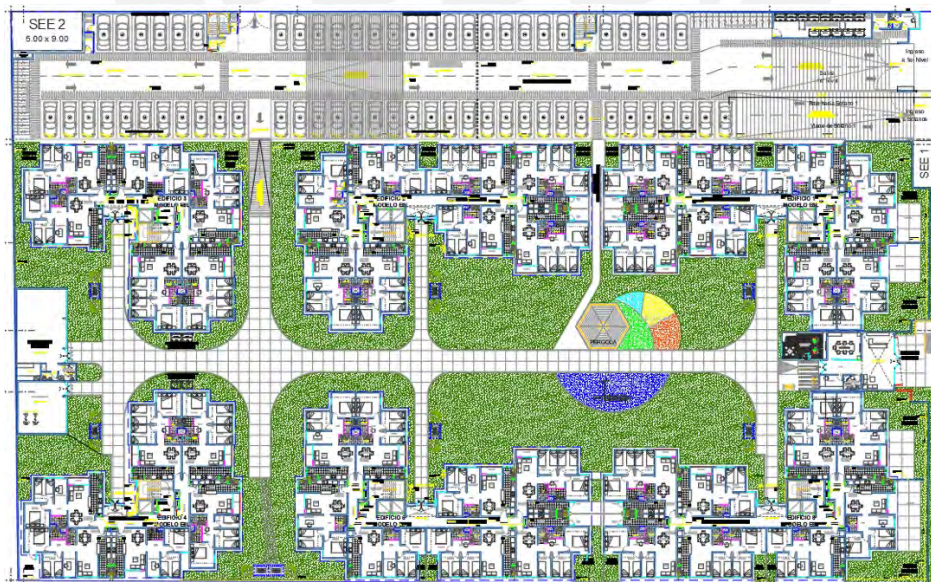


Figura 6. Planimetría del proyecto Villanova Etapa 3.
Fuente: Cumbres

1.5 Justificación

En la actualidad, la centralización en Lima, el incremento poblacional y la carencia de infraestructura en el país genera problemas de carácter cualitativo y cuantitativo. Esta problemática ha generado en el transcurso de la última década que el sector inmobiliario en el país se desarrolle exponencialmente, especialmente, en la ciudad de Lima, debido a la centralización del país. Por ello, las empresas inmobiliarias y las constructoras deben enfocarse en mejorar la productividad en sus actividades para reducir los costos con la finalidad de brindar la mejor oferta según la zona en la que se ubican y el público objetivo.

El presente trabajo plantea evaluar los procesos constructivos de un proyecto partiendo del análisis de los desperdicios de cada actividad para luego emplear un ciclo de mejora continua que elimine estos desperdicios. De esta manera, se puede realizar una iteración en cada proceso constructivo hasta optimizar el proceso según las limitaciones de cada empresa o persona.

1.6 Metodología

El desarrollo de este trabajo consta de siete etapas las cuales son: evaluación del estado del arte, propuesta de alternativa al proceso, ejecución de la propuesta, recolección y análisis de información, análisis de desperdicios, ciclo de mejora continua y finaliza con la presentación de la propuesta optimizada con sus recomendaciones para aplicar, en un futuro, a más procesos constructivos del proyecto.

- Evaluación del estado del arte:

En esta primera etapa se conocerá el estado del arte del proceso constructivo en el proyecto, es decir, se mostrará cómo se realizaba la actividad, cuánto costaba y qué desperdicios generaba. Con ello, se podrá desarrollar ideas de mejoras que no contemplen los mismos desperdicios o en su defecto, que contemple menor cantidad de desperdicios en ella.

- Propuesta de alternativa al proceso:

A continuación, se explica brevemente los recursos con los que contaba el proyecto para poder implementar la alternativa al proceso convencional (estado del arte) y se realiza un análisis de costos teórico para determinar si la propuesta alterna es viable de implementar a nivel económico. Para ello, se debe comparar el análisis de costo unitario (ACU) del estado del arte con la nueva propuesta.

- Ejecución de la propuesta:

Posteriormente, se solicita aprobación al proyecto para ejecutar pruebas, ya que como sustento nos respalda el ACU de la propuesta y la posibilidad del ahorro en la actividad. Durante esta ejecución se debe realizar una toma de datos como son los tiempos, transporte, recursos empleados y, lo más importante, aprovechar el talento humano de los trabajadores que realizan la actividad para sugerir ideas de mejora.

- Recopilación y análisis de la información:

Al implementar la propuesta se recolectó información como las mediciones de tiempo, recursos y el talento humano. Con ello, se analizará el costo unitario de la actividad y se corroborará si es rentable en comparación a la propuesta anterior o al estado del arte.

- Análisis de desperdicios:

Luego de evaluar la rentabilidad, se procede a identificar los desperdicios de la última propuesta de mejora con la finalidad determinar los puntos a eliminar o mejorar en el ciclo PHDA o Deming.

- Ciclo PHDA:

Con los desperdicios identificados, se procede a realizar los cuatro pasos del ciclo de mejora continua:

Planificar: establecer controles en el nuevo proceso propuesto para eliminar los desperdicios del proceso anterior o el que se quiere mejorar.

Hacer: coordinar con todas las partes involucradas el proceso nuevo y las metas a lograr. Luego de ello, se inician las pruebas del proceso mejorado.

Verificar: con las pruebas realizadas, verificar con la información obtenida los nuevos resultados de tiempos, recursos empleados y costos del proceso mejorado.

Actuar: se analizarán los resultados y se compararán con el proceso anterior. Si los resultados son positivos (se eliminan los desperdicios y se ahorra en costos), se implantará la mejora; caso contrario, se deberá decidir qué cambios realizar para volver al primer paso e implementar nuevas mejoras.

- Presentación de la propuesta optimizada:

Finalmente, la propuesta optimizada es el resultado de varias iteraciones del ciclo de mejora continua hasta lograr obtener un costo reducido en comparación al proceso inicial (estado del arte). En esta última fase, se realiza una comparativa en base a los ACUs obtenidos y, se brindan las conclusiones y recomendaciones para realizar esta metodología que es aplicable en cualquiera de los procesos constructivos.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de flujo que presenta la secuencia de la metodología a emplear.

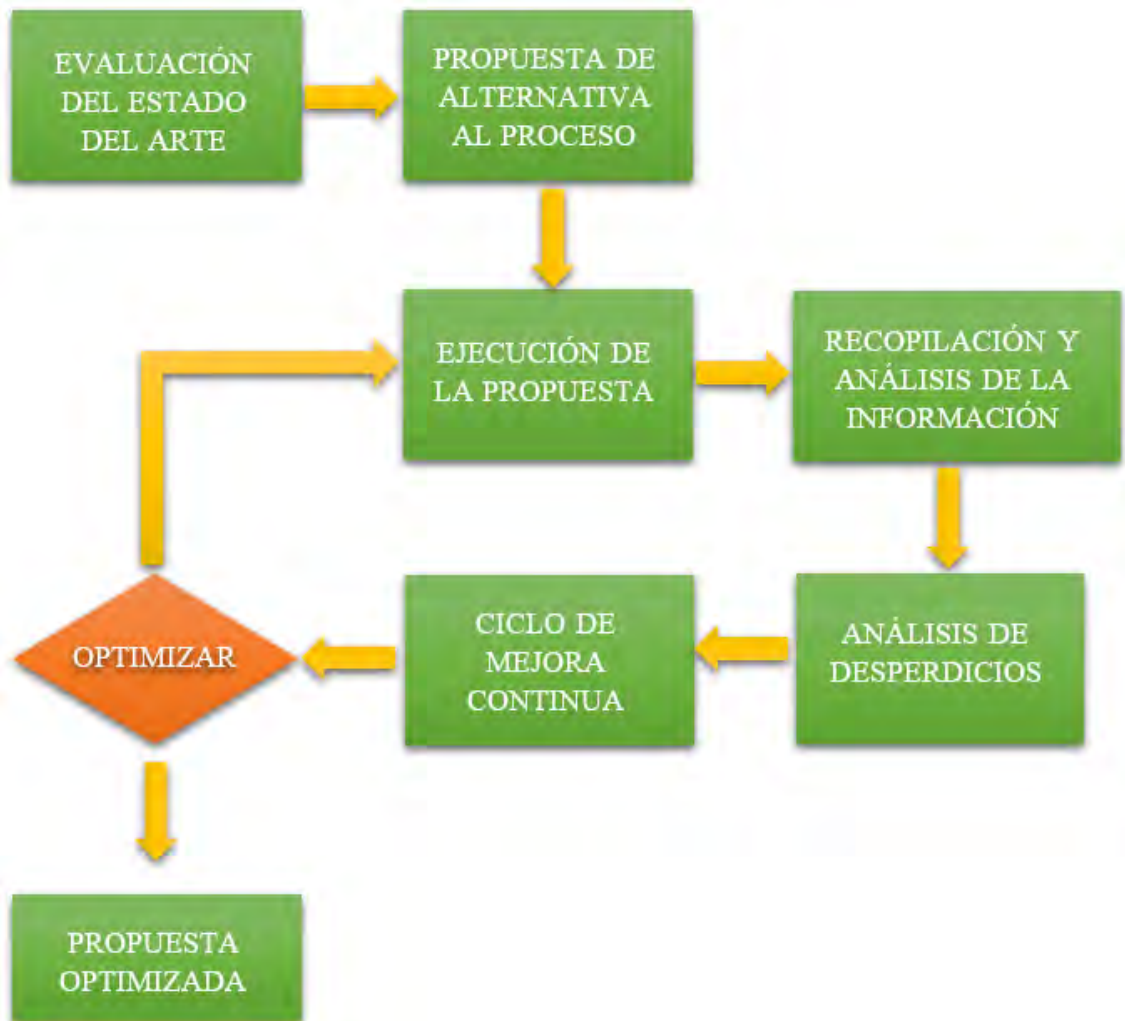


Figura 7. Secuencia del trabajo de tesis
Fuente: Propia

2. Marco teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes nacionales

Arteaga, L. (2014), en su informe de suficiencia “Optimización en la producción de la planta de elementos prefabricados de concreto implementada para el proyecto de saneamiento Pachacútec en Ventanilla – Callao en el año 2013”, propone que al emplear los conceptos de la Construcción Sin Pérdidas es posible mejorar el tiempo y costo de la elaboración de prefabricados de concreto con ayuda de una planta mezcladora implantada exclusivamente para ello. Es una investigación experimental con la finalidad de aplicarla en otros proyectos, ya que se trabaja con variables independientes y se contrastan los resultados en base a puntos establecidos inicialmente.

El autor resalta que se cumplió con el objetivo principal y los resultados demuestran la reducción y mejora del tiempo de entrega de los prefabricados, lo cual era una problemática inicialmente. Además, se logró reducir el costo en comparación al mercado local, pero sin alterar los estándares de calidad. En cuanto a la optimización del suministro, se ha logrado producir 12% más de la cantidad requerida diariamente, por lo que se obtuvo una holgura de 1 mes de entrega; en cuanto al costo, se ha logrado obtener un porcentaje menor en comparación al mercado local, buzones (5,6%), registros (27,4%) y porta medidores (4%). Asimismo, se implementaron protocolos de calidad para los diferentes procedimientos, se pidieron certificados de calidad de todos los materiales.

Esta tesis es relevante, dado que aporta a la presente investigación, desde el punto de vista de que el uso de las herramientas de *Lean Construction* o Construcción sin pérdidas nos ayudarán a optimizar cualquier proceso que se evalúe.

Bracamonte, L. (2015), en su informe “Aplicación de herramientas *Lean Construction* para optimizar los costos y tiempos en la ampliación del colegio Markham – Lima - 2015”, plantea enseñar la gestión de la construcción en el proyecto de ampliación, así como los procesos constructivos en lo que se aplican herramientas de la Construcción Sin Pérdidas. Es un estudio que abarca la expansión del conocido colegio Markham, situado en Lima, Perú. Es una investigación experimental, se aplicarán herramientas para controlar la producción y luego poder realizar las mejoras.

El autor resalta que la principal herramienta con la que se podrá calcular los rendimientos semanales e identificar las actividades a las que se debe hacer un mayor

seguimiento fue el Informe Semanal de Producción o conocido también por sus siglas “ISP”, herramienta que permite identificar el avance semanal y contrastarlo con la cantidad de recursos empleados (horas hombre, máquina, materiales, etc.) en cada actividad o proceso constructivo. Además, menciona que las herramientas de control cualitativas que emplean son el análisis de restricciones y la planificación diaria, y las cuantitativas son el ISP, volumen por sector de trabajo, y control del rendimiento. Con los conceptos mencionados antes y aplicados correctamente, es posible conseguir la producción continua de los trenes de trabajo en el proyecto. De igual manera, menciona que es importante realizar correctamente el presupuesto del proyecto en la etapa de planeamiento con sus respectivos análisis de precios unitarios (APU) con la finalidad de controlar el costo durante la construcción. Finalmente, se concluyó que al implementar las herramientas de la filosofía *Lean Construction* se obtuvieron los siguientes resultados: mejoras en la calidad de la construcción, aumento de la productividad, cumplimiento del cronograma de entrega, optimización del costo de las actividades, entre otros.

Este informe de suficiencia es relevante dado que aporta, al igual que la presente investigación, al conocimiento e implementación de las herramientas más importantes del sistema *Lean Construction* para poder aplicar mejoras en los procesos.

2.1.2 Antecedentes internacionales

Pérez, A. (2010), en su tesis “Detección de pérdidas operacionales en la construcción de edificios de oficinas de más de 30 000 m² con plantas libres – Análisis aplicado a montajes de fachadas de muro cortina – Chile - 2010”, plantea que para brindar soluciones a los inconvenientes que se generan debido a una inadecuada gestión de la construcción se requiere emplear conceptos y herramientas que identifiquen los desperdicios, específicamente en actividades que cuentan con reducida información de estudio. Es una investigación enfocada al montaje de muros cortina, en edificaciones de planta libre, la cual es una actividad que carece de optimización y mejoras implementadas en el mercado actual para aumentar su productividad. Es una investigación experimental que aplica herramientas para optimizar el proceso.

El autor resalta que dentro de las pérdidas más significativas se encuentran las siguientes: el retraso en las actividades, clasificada dentro de las pérdidas de tiempo, y representa un 20,9%; el exceso de tiempo para solucionar inconvenientes, clasificada como problemas burocráticos, y representa un 67%; el retraso considerable en el envío o recepción de la información, incluida en los problemas de información, representando un

78%; deficiente planificación de los suministros desde las instalaciones de la compañía hasta el sitio de construcción, clasificada dentro de los problemas de planificación con un 56% de frecuencia. En cuanto a las pérdidas medidas en horas hombre, se tienen las siguientes: la destacada es el tiempo de transporte de materiales, que cuenta con 60HH desperdiciadas y representando el 29% del tiempo total de pérdida; los cambios a raíz de errores de los prefabricados o cambios en el diseño de montaje, con 44HH que representan el 20%; el tiempo de espera de material a despachar del almacén de la obra, con 36HH, que representa un 16%.

Esta tesis es importante debido a que, al igual que en la presente investigación, evalúa todos los desperdicios posibles para proponer mejoras que aporten a la optimización de un proceso constructivo.

Alpízar, G. (2017), en su tesis “Aplicación de *Lean Construction* a través de la metodología *Last Planner System* a proyectos de vivienda social de FUPROVI - Costa Rica - 2017”, plantea elaborar la secuencia a seguir para aplicar la metodología *Last Planner System* en proyectos de construcción de viviendas con la finalidad de implementar mejoras en la gestión de los plazos. Es un estudio que incluye la aplicación piloto de esta metodología en los proyectos “La Colina de Noche Buena” y “La Reseda”, ambos proyectos que pertenecen a la Fundación Promotora de Vivienda (FUPROVI). La investigación es experimental de tipo aplicativo, debido al uso de una nueva metodología a proyectos con diferentes tipos de contrato para poder evaluarlos y obtener una constante en su flujo de trabajo que permita diseñar un procedimiento para la futura aplicación en múltiples proyectos de FUPROVI.

El autor resalta que en el proyecto de La Colina de Noche Buena durante las 8 semanas que se estuvo implementando la metodología se obtuvo que a la semana 8, solo se había completado el 71% de las actividades, también se pudo observar que la mayor causa del no cumplimiento de las actividades durante cada semana fue el escaso suministro de materiales debido a la falta de planificación y seguimiento. En el proyecto La Reseda no fue posible evaluar de la misma manera que al proyecto anterior, ya que en este se tenía el contrato tipo llave en mano con el cual todo el proceso constructivo era responsabilidad del contratista. Se debe recalcar que sea cual sea el tipo de contrato, la metodología *Last Planner System* puede ser aplicada sin problemas.

Esta tesis es relevante dado que, al igual que en la presente investigación, ofrece las herramientas y procesos para poder realizar un manual o secuencia de aplicación de una metodología del *Lean Construction* a diversos proyectos de vivienda. Además, se puede corroborar que esta metodología aporta mejoras en los procesos, un orden en el flujo de trabajo y la reducción del costo.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Concreto premezclado

Una mezcla de arena y grava unida por una pasta conformada por cemento y agua es conocida como concreto. Es frecuente que se agreguen aditivos con la finalidad de mejorar sus características como son la trabajabilidad, resistencia, perdurabilidad y el fraguado. Su alta resistencia a la compresión es la principal propiedad por la que se emplea en la construcción; sin embargo, otra de sus propiedades es la baja resistencia a la tracción. Los componentes de esta mezcla pasan a través de una selección de calidad, cuyas dosificaciones se realizan en peso y pueden variar según el tipo de estructura o requerimiento del cliente (resistencia, trabajabilidad, durabilidad, ...).

En cuanto a preparación, el concreto premezclado es un producto elaborado o dosificado en lugares externos al proyecto u obra. El proceso de mezclado puede realizarse en una planta de concreto (planta mezcladora) o en el mismo camión mezclador (planta dosificadora) conocido como *mixer*. Finalmente, el producto es transportado y suministrado al cliente en camiones o *mixers*, según las características solicitadas. Ambos medios de mezcla son controlados por procesos de calidad y cumplen con la normativa vigente.

- **Planta dosificadora:** Es donde se realiza el pesaje e integración de los materiales para producir concreto en base a una dosificación y, posteriormente, se cargan al camión mezclador (*mixer*). En la figura 8, se muestra una de las plantas dosificadoras y el *mixer* de la compañía concretera UNICON.



Figura 8. Planta dosificadora y mixer de la compañía UNICON.

Fuente: www.unicon.com.pe/premezclado/mobile-mixer/

- **Planta mezcladora:** Es una planta en la cual se realiza el pesaje, medida y mezcla de los insumos para la preparación del concreto y, posteriormente, la mezcla es descargada a los *mixers*. La figura 9, muestra una planta mezcladora instalada por UNICON.



Figura 9. Planta mezcladora instalada por la empresa UNICON

Fuente: groupconcretperu.com/?dtbaker_style=servicios/mineria

2.2.1.1 Secuencia de preparación del concreto premezclado

Para la preparación o dosificación de los insumos del concreto premezclado, se debe considerar tener la arena, grava, cemento, aditivos y agua en los puntos o zonas de almacenaje. En la siguiente imagen se desarrollará la secuencia del proceso:

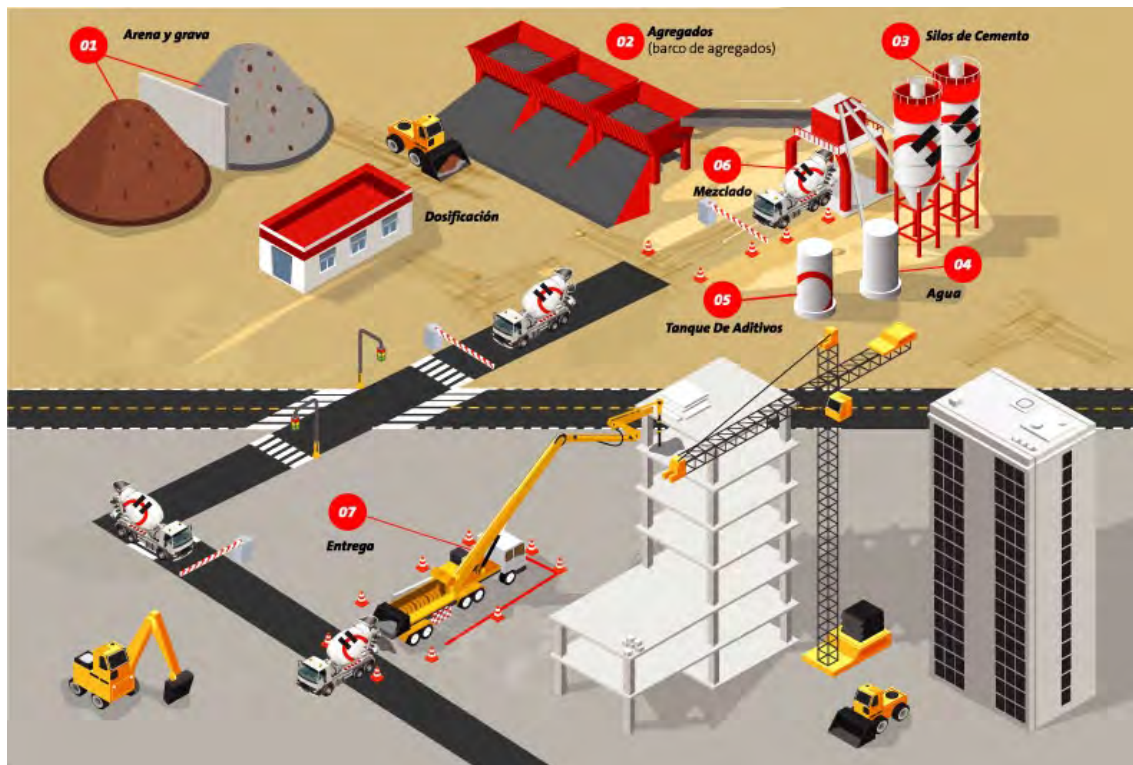


Figura 10. Secuencia trabajo en una planta dosificadora o mezcladora

Fuente: www.holcim.com.mx/proceso-del-concreto

- 1) Se realiza el traslado de agregados del acopio designado hacia los bancos o tolvas de agregado **(de 1 a 2)**.
- 2) Se procede a realizar el proceso de abastecimiento a través de las fajas transportadoras y las celdas de carga, según las cantidades requeridas hacia la báscula de agregados. Posteriormente, esta es trasladada con una faja transportadora o un elevador de cangilones **(a)** hacia el mezclador **(b)**.
- 3) Se realiza el traslado del cemento a través de un tornillo transportador sin fin **(c)** hacia la báscula de cemento según las cantidades requeridas.
- 4) Se efectúa el traslado del agua a través de una bomba a presión desde el tanque de agua hacia el mezclador.
- 5) Se procede con el traslado del aditivo a través de una bomba neumática desde el tanque hermético hacia la báscula de aditivos.
- 6) Una vez que se obtengan en cada tanque y/o báscula según cada componente, se procede a verterlos en el mezclador o bolo para la homogenización y mezclado. Finalmente, la mezcla del concreto se descarga en el *mixer*.
- 7) Se efectúa el traslado y entrega del concreto premezclado al cliente.

Cabe resaltar que el proceso de fabricación en las plantas dosificadoras es semejante al mencionado anteriormente hasta el ítem 6. Sin embargo, los componentes una vez pesados, se proceden a cargarlos directamente al camión mezclador.

El procedimiento recomendable para efectuar en el camión mezclador es el siguiente:

- 1) Agregar el 25% de la cantidad total de agua, con la finalidad de humedecer el tambor mezclador del camión.
- 2) Se adiciona el 100% de la cantidad total de la grava.
- 3) De forma paralela, agregar el 50% de la cantidad total de cemento.
- 4) Al finalizar la dosificación de la grava, se procede a agregar el 100% de la arena.
- 5) De forma paralela, agregar el 50% restante del cemento.
- 6) Finalmente, al término de la dosificación de la arena, grava y cemento, se procede a adicionar el 75% restante del agua mezclado con los aditivos en su totalidad.

2.2.1.2 Desperdicios del concreto premezclado

El Ing. Lucio Soibelman (Soibelman, 1993) realiza una investigación sobre la incidencia del desperdicio de materiales en el sector construcción, entre ellos, el concreto premezclado. En su investigación basada en cinco proyectos diferentes ubicados en Porto Alegre, Brasil, explica los principales motivos por los cuales se puede generar desperdicios durante la preparación del concreto premezclado:

- Contar con equipos en malas condiciones, los cuales permiten la filtración del concreto o cuando se efectúa un movimiento de los elementos debido a una reubicación del vaciado.
- Requerimientos con pedidos excesivos y/o errores de cubicaje
- Malas prácticas en la ejecución de las actividades de topografía y/o encofrado que, como consecuencia, alteran el volumen del elemento
- Diferencias en el despacho del concreto con respecto a lo pedido y a lo entregado en obra

A manera de ejemplificar las tres primeras causas de desperdicio se mencionarán las causas encontradas en la investigación realizada sobre los desperdicios de materiales en obras de construcción civil: métodos de medición y control (Galarza, 2011). En esta investigación se analizaron los resultados de la ejecución de dos proyectos y se

identificaron las causas de los desperdicios durante los procesos constructivos, las cuales se detallarán en las siguientes líneas:

- Residuos de proceso: Para efectuar el vaciado de concreto de los pisos superiores en uno de los proyectos investigados, se optó por contratar el servicio de bomba estacionaria, la cual depende de tramos de tubería metálica para canalizar el recorrido del concreto para ser impulsado por la bomba. Se evidenció que al finalizar la actividad se procede a desarmar tramo por tramo todo el recorrido de la tubería. En este proceso, se observa que en los tramos de tubería existen remanentes de concreto que acumulados se ha podido estimar que representan un 5% de desperdicio del concreto premezclado y que deberá ser considerado en el pedido y en el costo unitario de la actividad.

- Pedidos en exceso: Es habitual que los profesionales encargados de realizar el pedido de concreto, a manera de precaución, soliciten en un 5% adicional en su volumen de concreto a la empresa distribuidora. Esto podría evitarse, siempre y cuando se verifique y cuantifiquen correctamente los volúmenes de cada elemento a vaciar. Este volumen adicional, en caso de no utilizarse, produce pérdidas sobrantes del proceso.

- Pérdidas por sobre producción: Al ejecutar el vaciado de elementos contra terreno (sin encofrado) como, por ejemplo, los muros pantalla, se producía el desprendimiento del terreno durante el perfilado para la colocación del acero. De esta manera, resultaba difícil lograr un espesor de 30 cm en el perfilado manual que realizaba el personal. Por ende, esto generaba una mayor cantidad de concreto durante el vaciado a comparación del volumen proyectado inicialmente (desperdicio obtenido: 47%).

Por otro lado, con respecto a la cuarta causa de desperdicio, se mencionará como referencia a los desperdicios y las principales causas encontradas en una investigación realizada a la planta del Callao de la empresa Mixercon S.A (Alca, Maldonado, & Reátegui, 2015), los cuales son los siguientes:

- Transporte:

Se observó que la planta en mención presentaba poco espacio para efectuar las maniobras. Por ende, los *mixers* optaban por movilizarse más de lo necesario con la finalidad de encontrar una posición adecuada. Además, a parte de los movimientos innecesarios, el *mixer* debía de realizar su traslado habitual: zona de carguío, regulación y de lavado.

- Inventario:

Se observó que las zonas de acopios de la arena y piedra, agregados del concreto, no se encontraban en una ubicación óptima, ya que los materiales ocupaban parte de la vía del patio de operaciones donde se efectuaban las maniobras. De esta manera, la vía por la cual transitaban los *mixers* estaba obstruía, en ciertas ocasiones, impidiendo a los *mixers* una movilización fluida y ordenada, con lo cual se generaba un incremento en el tiempo de operación que desencadenaba en demoras de la distribución al cliente.

- Movimiento:

Debido al escaso espacio en la planta del Callao, los camiones de carga y *mixers* realizaban movimientos innecesarios en el área de carga de la dosificadora. Aproximadamente le tomaba tres maniobras al conductor para posicionar el vehículo en la zona de carga, con lo cual se obtenía un tiempo operativo de 20 minutos que son contabilizados desde que llega el camión a la planta y hasta que se va. Sin embargo, en la sede de Huachipa de la misma compañía, que presentaba un área de carga con características similares a la del Callao, se obtuvo, en las mediciones, un tiempo de operación de 15 minutos en el mismo proceso.

- Esperas

El área de carga presentaba un espacio reducido, ya que en ciertas ocasiones los camiones o bombonas, que transportan el cemento a la planta, se ubicaban en la zona en mención. Esto impedía que el *mixer* se ubique en dicha zona y, por ende, se reubicaba en otra posición a la espera del término del proceso de carga del *mixer* anterior a este.

- Sobre proceso:

El producto no cumplía con los estándares de calidad y este era rechazado por el cliente, motivo por el cual debía ser eliminado y el camión debía ingresar al área de carga. Generalmente, el problema se debía a la falta de capacitación y concentración del operador ya que olvidaba ciertos procedimientos básicos como la correcta cantidad de agua a agregar a la mezcla. Asimismo, otro de los factores era cuando no ingresaban las cantidades requeridas al *mixer*, debido a que los chutes no realizaban un correcto contacto según el procedimiento y/o por la presencia de alguna falla en las compuertas de los agregados, alterando el diseño original.

- Sobre producción:

El concreto premezclado cuenta con una garantía de durabilidad previa al fraguado inicial según los requerimientos del proyecto; sin embargo, en ciertas ocasiones,

por problemas externos (retorno de unidades) o internos (desperfectos de planta) el concreto programado no era aceptado por el cliente. Entonces, el producto fabricado no se puede almacenar, por lo que se optaba a eliminar o, en algunas ocasiones, a utilizarlo en áreas de la planta de la compañía concretera donde creían conveniente.

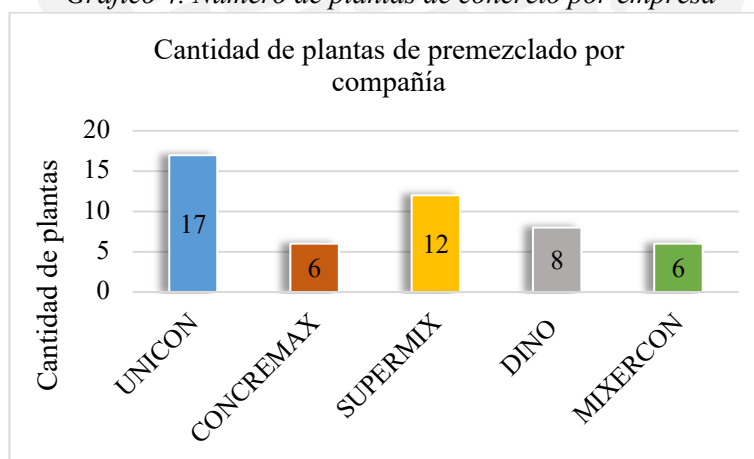
- Defectos:

La planta cuenta con un trabajador capacitado para regular y verificar la calidad del concreto debido a los inconvenientes mencionados anteriormente. Cuando el resultado de la evaluación del trabajador es negativo, se procede a la eliminación del producto; sin embargo, como la compañía debe asumir los costos, lo consideran dentro de sus gastos operativos como una merma o desperdicio técnico.

2.2.1.3 Empresas nacionales de concreto premezclado en el Perú

De acuerdo con lo mencionado por la Cámara Peruana de la Construcción (Camara Peruana de la Construcción, 2019), se cuenta con 19 compañías que brindan el servicio de premezclado en el país. Dentro de estas compañías se puede encontrar a UNICON S.A., Concremax S.A., Concretos Supermix S.A., Distribuidora Norte Pacasmayo SRL y MIXERCON S.A. Estas cinco principales empresas, cuentan con 49 plantas de producción de concreto premezclado en total. Según los datos especificados en el gráfico 4, se puede observar las cantidades de plantas de concreto que presenta cada empresa.

Gráfico 4. Número de plantas de concreto por empresa



Nota. Datos obtenidos de las páginas webs de dichas empresas.

Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos 5 y 6, se muestra un recopilado de la información, obtenida a través de las páginas webs de cada empresa, con la finalidad de obtener una percepción a nivel macro de la influencia que cuentan las cinco principales proveedoras en el Perú.

Gráfico 5. Resumen de empresas nacionales de concreto premezclado en el Perú

EMPRESA CEMENTERA	UNACEM S.A.A. (Unión Andina de Cementos)	
DESCRIPCIÓN	Es la fusión de Cementos Lima y Cemento Andino. Contribuyen al desarrollo de la infraestructura del país, suministrando cementos y servicios de gran calidad.	
PLANTAS DE CEMENTO	1. Planta Atocongo (Villa María del Triunfo, Lima). 2. Planta Condorcocha (La Unión Leticia, Tarma, Junín).	
EMPRESA CONCRETO PREMEZCLADO	UNIÓN DE CONCRETERAS S.A.	CONCREMAX S.A.
HISTORIA	Se crea en el año 1996, con la fusión de dos empresas líderes en el país en la producción de concreto premezclado, COPRESA (fundada en 1956) y HORMEC (1976). En el año 2000, forma una sociedad al inaugurarse en Lima la fábrica MBT - UNICON S.A., actualmente su razón social es BASF, The Chemical Company. En 2010, adquirió el 50% de las acciones de la empresa Entrepisos Lima S.A.C.	Fue fundada en 1995 como Firth Industries Perú. En 2011, UNICON S.A. hizo efectiva la adquisición del 100% de las acciones de Firth Industries Perú S.A., por lo que actualmente se encuentra asociada.
PLANTAS DE CONCRETO	<p>- ZONA SUR:</p> <ol style="list-style-type: none"> Planta Asia: Km. 101 Panamericana Sur. Planta Cañete: Avenida Benavides, Lotes 6 y 7, alt. Km. 144 Panamericana Sur. Planta Chincha: Carretera Alto Larán Km. 25, Pampañoco, alt. Km. 201 Panamericana Sur. Planta Pisco: Av. Fermín Tangüis, Manzana D Lote 6, Alto el Molino, alt. Km. 250 Panamericana Sur. Planta Ica: Km. 308 Panamericana Sur, Pueblo Nuevo. <p>- ZONA NORTE:</p> <ol style="list-style-type: none"> Plancha Chancay: Lote 21, Manzana "C" de Lotización Chacarilla, alt. Km. 82 Panamericana Norte. Planta Huacho: Av. Perú 534 Santa María, Huaura, aprox. Km. 152 de la Panamericana Norte. <p>- ZONA ESTE:</p> <ol style="list-style-type: none"> Planta Huancayo: Av. Ferrocarril 2929 – 2935 Anexo Batanyacu, distrito El Tambo. Planta Huánuco: Carretera al Aeropuerto Km. 5 S/N, Colpa Baja Huánuco. <p>- Plantas fijas en Lima y Callao (Plantas: San Juan, Ancieta, Conchán, Collique, Materiales y Oquendo). - Dos nuevas plantas fijas: Ancieta y Huachipa.</p>	<ol style="list-style-type: none"> Planta Villa: Cooperativa las Vertientes Mz F. Lote 3A, Villa el Salvador. Planta Santa Anita: Av. Huarochiri s/n Zona Industrial Vista Alegre, Santa Anita. Planta Callao: Zona Industrial I Lt. 58 A-1 ex fundo Oquendo, Callao. Planta Chilca: Av. Santo Domingo de los Olleros Km 63.50, Panamericana Sur. Planta Zapallal: Carretera Panamericana Norte Lt. 3 (Alt. Km. 28.5 - 29), Ventanilla, Callao. Planta Lurín: Pampas Lucumo Mz D4, Lurín.
OBRAS	<p>CENTROS COMERCIALES:</p> <ol style="list-style-type: none"> Angamos Open Plaza (Surquillo). Gran mercado mayorista (Santa Anita). Larcomar (Miraflores). <p>CENTROS DE ESPARCIMIENTO:</p> <ol style="list-style-type: none"> Centro Cívico (Lima). Remodelación del Estadio Nacional. Museo de la Memoria (San Isidro). <p>OFICINAS:</p> <ol style="list-style-type: none"> Centro de cómputo del BCP (Chorrillos). Edificio empresarial "IN MORE". Nuevo Palacio Judicial (Cañete). <p>LOSAS Y PISTAS:</p> <ol style="list-style-type: none"> Instituto Nacional de Rehabilitación (Chorrillos). Intercambios Viales Vía Expresa: Grau - Lima y Javier Prado. Metropolitano (Lima). <p>INFRAESTRUCTURA:</p> <ol style="list-style-type: none"> Aceros Arequipa (Pisco). Ampliación del aeropuerto Jorge Chávez (Callao). Central Hidroeléctrica El Platanal (Cañete). Planta de licuefacción de Gas - Pampa melchorita (Chincha). Tren eléctrico (Lima). Planta de fraccionamiento y plataforma marítima - proyecto Gas Camisea (Pisco). Terminal de contenedores Muelle Sur (Callao). 	<p>VIVIENDA:</p> <ol style="list-style-type: none"> Edificio Palma Real (Lima). Edificio La Mar Pacífico (Pueblo Libre). <p>EDIFICACIONES URBANAS:</p> <ol style="list-style-type: none"> Colegio Virgen de Guadalupe (Pachacutec). Centro empresarial Abril (Miraflores). <p>INDUSTRIA:</p> <ol style="list-style-type: none"> Nueva planta El Tigre (Lurín). La Sirena (Lurín). Almacén Lurín II (Lurín). Planta Lindley (Pucusana). <p>INFRAESTRUCTURA:</p> <ol style="list-style-type: none"> Planta de tratamientos de agua La Chira. Pavimentación Av. 26 de Noviembre (Villa María del Triunfo) Pavimentación Av. María Elena Moyano (Villa El Salvador). Pavimentación Av. Pastor Sevilla (Villa El Salvador). Mejoramiento de Pistas y Veredas en la Urb. Tarapaca Zona 14 (Callao).

Fuente 1. De UNACEM PERÚ S.A. (26 de Julio de 2023). UNACEM. Obtenido de GRUPO UNACEM: <https://unacem.pe/nosotros/grupo-unacem/>

Fuente 2. De UNION DE CONCRETERAS S.A. (02 de Julio de 2022). Historia. Obtenido de UNICON: <https://www.unicon.com.pe/historia/>

Fuente 3. De CONCREMAX S.A. (03 de agosto de 2022). Historia. Obtenido de Concremax:
<https://www.concremax.com.pe/historia/>

Gráfico 6. Resumen de empresas nacionales de concreto premezclado en el Perú

EMPRESA CEMENTERA	Yura S.A	Cementos Pacasmayos S.A.A.	-
DESCRIPCIÓN	Produce y comercializa cemento, y materiales de construcción, convirtiéndose en líder de su mercado de influencia. Uno de los ejes de desarrollo más importantes de la región sur del país.	Se dedica a la fabricación y comercialización de cemento, cal, agregados, concreto premezclado, elementos prefabricados y otros materiales de construcción.	-
PLANTAS DE CEMENTO	1. La Planta Yura (Arequipa). 2. La planta Cal & Cemento Sur (Juliaca, Puno).	1. La planta de Pacasmayo (La Libertad). 2. La planta de Rioja (San Martín). 3. La planta de Piura (Piura).	-
EMPRESA CONCRETO PREMEZCLADO	CONCRETOS SUPERMIX S.A.	DISTRIBUIDORA NORTE PACASMAYO SRL	MIXERCON S.A.
HISTORIA	Es una empresa del Consorcio Cementero del Sur S.A. y forma parte del conglomerado de empresas del Grupo Gloria, atendiendo desde el año 1998 como "Yura División Concretos" y desde el año 2011 como "Concretos Supermix S.A."	Inició sus operaciones el año 1995 con el objetivo de comercializar y distribuir materiales para la construcción en todo el norte y oriente del Perú. Actualmente, DINO SRL cuenta con la Red Comercial de materiales de construcción más grande del Perú, conformada por más de 130 locales asociados, estratégicamente ubicados en 41 distritos a lo largo del nororiente del país desde Huarmey en el sur, hasta Zarumilla por el norte.	Inició sus operaciones el año 2001, con el objetivo de brindar el servicio de elaboración, suministro y bombeo de concreto premezclado, logrando atender a las principales obras de construcción de la ciudad.
PLANTAS DE CONCRETO	1. Planta Variante (Arequipa). 2. Planta Tacna (Tacna). 3. Planta Wanchaq (Cusco). 4. Planta Juliaca (Puno). 5. Planta Ilo (Moquegua). 6. Planta La Joya (Arequipa). 7. Planta Puerto Maldonado (Puerto Maldonado). 8. Planta Abancay (Abancay). 9. Planta PTAR (Arequipa). 10. Planta Nazca (Nazca). 11. Planta Matarani (Arequipa, Islay). 12. Planta Moquegua (Moquegua).	1. Planta Piura (Piura). 2. Planta Chiclayo (Chiclayo). 3. Planta Cajamarca (Cajamarca). 4. Planta Pacasmayo (Piura). 5. Planta Trujillo (Trujillo). 6. Planta Chimbote (Nuevo Chimbote). 7. Planta Rioja (San Martín). 8. Planta Tarapoto (Tarapoto).	1. Planta Villa El Salvador II: Carretera Panamericana Sur Km 16.5 Mza. B, Lote 10 Asoc. La Concordia, Villa El Salvador. 2. Planta Huachipa: Cal. Las Morenas Mz D Lote 17 A Urb. La Capitana Santa María de Huachipa. 3. Planta Independencia: Calle Pacífico N° 160 Z.I. Panamericana Norte, Independencia. 4. Planta Gambeta – Callao: Av. Nestor Gambetta N° 488 Urb. Industrial la Chalaca, Callao. 5. Planta Lurín: Av. Lechuceros Bajo S/N – Lurín (Frente con el Callejón a las Lomas), Lurín. 6. Planta Oquendo – Callao: Av. Nestor Gambetta Km 5.5 Lote. 58A ex fundo Oquendo, Callao.
OBRAS	CENTROS COMERCIALES: 1. Real Plaza (Cusco). 2. Mall Aventura Plaza (Arequipa). 3. Supermercados Tottus (Arequipa). EDIFICACIONES: 1. Residencial Huaranguillo (Arequipa). 2. Residencial Bavaria (Arequipa). 3. Residencial Valle Blanco (Arequipa). 4. Edificio Caja Municipal (Cusco). 5. Colegios Futura Schools (Arequipa). 6. Colegio Gran Unidad Mariano Melgar (Arequipa). INDUSTRIA: 1. Planta Yura - Línea 3 (Arequipa). 2. Southern Perú Toquepala (Tacna). 3. Proyecto Mina Toquepala (Tacna). 4. Proyecto Antapaccay (Tintaya). 5. Proyecto Ampliación Cerro Verde (Arequipa) 6. Ampliación de planta de tratamiento de agua La Tomilla II (Arequipa).	CENTROS COMERCIALES: 1. Mall Aventura Plaza (Trujillo). 2. Tottus - Sodimac Chiclayo (Chiclayo). 3. Centro Comercial Real Plaza (Trujillo). 4. Mall Plaza de la luna (Piura). EDIFICACIONES: 1. Corte Suprema de Justicia de la Libertad (La Libertad). 2. Club del colegio de Abogados del Perú (Trujillo). 3. Urb. Paseo del mar - Domus Hogares (Chimbote). 4. Hotel Decameron (Piura). INFRAESTRUCTURA: 1. Pavimentación urb. Los Sauces (Chiclayo). 2. Pavimentación urb. Paseo del mar (Chimbote). 3. Planta de Gas Pariñas (Piura). 4. Bocatoma Las Palmas (Tumbes). 5. Carretera Bi-Nacional (La Libertad) 6. Chincas (Chimbote)	CENTROS COMERCIALES: 1. Centro Comercial Plaza Sol de Huacho (Huacho). EDIFICACIONES: 1. Proyecto familiar de 2000 viviendas (Surco). 2. Hoteles y oficinas (varios). INFRAESTRUCTURA: 1. Biblioteca del Complejo de Innovación Académica PUCP (Lima). 2. Centros de esparcimiento.

Fuente 1. De Yura S.A. (20 de Octubre de 2022). Empresa. Obtenido de Cemento Yura:
<https://www.yura.com.pe/empresa/>

Fuente 2. De Cementos Pacasmayo S.A.A. (20 de Marzo de 2022). Nosotros. Obtenido de Cementos Pacasmayo: <https://www.cementospacasmayo.com.pe>

Fuente 3. De SUPERMIX S.A. (23 de Julio de 2022). Sobre Supermix. Obtenido de Supermix: <https://www.supermix.com.pe/nosotros/>

Fuente 4. De Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L. (20 de Octubre de 2022). Sobre nosotros. Obtenido de DINO Distribuidora: <https://www.dino.com.pe>

Fuente 5. De MIXERCORN S.A. (21 de Marzo de 2022). Nuestra Historia. Obtenido de Nosotros: <https://www.mixercon.com/nosotros/>

2.2.1.4 Ventajas y desventajas del concreto premezclado y el hecho en obra

La elección entre el concreto premezclado y el elaborado en obra se da en base a las características de cada proyecto, por ejemplo, la envergadura, en aspectos técnicos y en el costo beneficio asociado en la ejecución del proyecto. Por ejemplo, algunos factores importantes a considerar para la selección entre los dos métodos en mención, planteados por la Asociación Argentina del Hormigón Elaborado (2008), y otros añadidos en base a la experiencia en diversas obras, las cuales son las siguientes:

- La ubicación del proyecto
- Las características técnicas del concreto solicitado (convencional, alto desempeño, con fibra, auto compactado, coloreado, entre otros)
- Especificaciones técnicas
- Estándares de calidad
- Cantidad solicitada para el proyecto completo
- Características de las estructuras de concreto
- Disponibilidad de premezclado cercana al proyecto
- Programación de vaciados de acuerdo con el proyecto
- Alcance y condiciones del contrato
- Presupuesto disponible
- Personal presupuestado para la actividad
- Espacio disponible en el proyecto bajo condiciones controladas

En la mayoría de los proyectos, al menos en una ocasión durante toda la ejecución de la obra, se ha realizado un vaciado de algún elemento que conlleve a un volumen pequeño (menor a 3 metros cúbicos) con el uso del concreto hecho en obra, ya que hoy en día se cuentan con concreto embolsados que solo requieren ser mezclados con cierta cantidad de agua para ser utilizados o, también, realizarlo convencionalmente. Sin

embargo, en circunstancias que se requieren volúmenes mayores con ciertas características específicas, estándares de calidad y cuente con un asesoramiento técnico durante la producción del concreto, normalmente se opta por recurrir al concreto premezclado fabricado por una empresa distribuidora homologada. A continuación, se mencionarán las principales ventajas y desventajas, con el enfoque de un proyecto horizontal, respecto a estos dos métodos en mención:

a. Concreto premezclado:

Ventajas:

- El avance tecnológico y equipamiento para la producción y distribución de concreto
- Producción de concretos especiales como son los de alta densidad, resistencia, autocompactante, permeable, con fibras, entre otros.
- Responsabilidad y garantía de los estándares de calidad por parte del suministrador
- Disponibilidad de suministro las 24 horas
- No requiere espacios de almacenamiento con respecto a las materias primas en obra
- No requiere de un control de procura de los insumos para el concreto que generan mermas durante su almacenamiento
- Asesorías técnicas con respecto al tipo de concreto solicitado
- Mayores velocidades de vaciado de concreto
- Uso de bombas de concreto ya sean estacionarias o de pluma para zonas de difícil acceso.

Desventajas:

- El proyecto debe contar con un acceso de terreno nivelado y sin pendientes elevadas para el ingreso de los *mixers*.
- Merma de concreto premezclado por error de cubicaje o redondeo.
- Designación de personal operativo para control de guías, vigía, registros y supervisión.
- El proyecto debe contar con un terreno horizontal o, en caso de ubicarse fuera del proyecto, el permiso municipal de uso de vías para la ubicación de las bombas de concreto, ya que puede existir el riesgo de volteo.
- Presencia de condiciones de seguridad de obra que limita el uso de bombas de concreto (bomba telescópica): cables eléctricos de alta tensión.

- Componentes adicionales con respecto a las bombas de concreto para las zonas inaccesibles: mayor tramo de tuberías de acero de la bomba estacionaria.
- Disponibilidad de enviar saldos reducidos menores a 3 metros cúbicos debido a falta de concreto en obra.
- Demoras en la atención de la distribución del concreto premezclado debido a distancias mayores al rango de atención de las plantas, tráfico vehicular y cambios de programación por retorno de unidades (*mixers*) en planta.

b. Concreto hecho en obra:

Ventajas:

- Adaptabilidad a las condiciones climáticas y contratiempos que ocurren normalmente en obra
- Independencia total en la producción y transporte del concreto
- Menor costo de producción
- Posibilidad de optimizar la dosificación para reducir costos
- Disponibilidad de producir saldos de concreto en el momento
- Producción de volúmenes de concreto más exactos (sin merma)
- Posibilidad de negociar precios de los componentes (aditivos, agregados y cemento)

Desventajas:

- Requiere de un control de los agregados para garantizar la calidad del concreto
- Requiere de personal capacitado con plantas de concreto lo cual es escaso en el mercado (uso de equipos mecánicos, cantidades a dosificar, entre otros)
- La garantía con respecto a la calidad y homogeneidad de la mezcla se debe realizar a través de terceros
- En las construcciones informales, el personal no presenta conocimientos al respecto de las normas de construcción y se basan en experiencia para la producción del concreto
- El equipo de mezclado requiere de una constante calibración
- Requiere de un control de almacenamiento y manipulación con respecto a los componentes del concreto
- La producción del concreto está limitada a la capacidad del equipo de mezclado como, por ejemplo, cuando se presenten picos de vaciado en el proyecto
- Requiere un costo de montaje, desmontaje y mantenimiento del equipo de mezclado

2.2.2 Herramientas de la filosofía *Lean Construction*

El rostro artesanal de la construcción aún considera presupuestar actividades con los desperdicios que estas generan, o pueden generar, con la finalidad de que los sobrecostos no impacten en las finanzas de la empresa. Un desperdicio puede ser descrito como un proceso o actividad que no agrega valor al producto final; y en los proyectos masivos, que generan trabajo continuo, se debe aprovechar la curva de aprendizaje y generar estándares para mejorar la calidad del trabajo y optimizar el uso de recursos. A esto último es a lo que se le conoce como productividad, y debe ser parte de las actividades de todos los días. Para ello, se debe medir los procesos de trabajo, identificar los desperdicios existentes y analizar propuestas para eliminarlos. Por ello, para implementar la mejora es importante plantear el problema, identificar las mejoras a realizar, ponerlas a prueba y evaluar el impacto que han generado. Finalmente, los siguientes tres principios Construcción sin pérdidas serán aplicados:

- Analizar e identificar lo que agrega valor para el cliente (estándar de calidad)
- Reducir el tiempo del ciclo de trabajo, esperas, inventarios y de cada proceso
- Reducir el costo total del proyecto sin perder la calidad

2.2.1.5 Desperdicios en la construcción

Los siete desperdicios presentados por Taiichi Ohno en el Sistema de Producción de Toyota han servido como guía para evaluar los procesos rutinarios y/o repetitivos en la industria con la finalidad de lograr la reducción de cualquier actividad que no agregue valor al producto final y, por ende, conseguir aumentar la productividad de las compañías. Por esta razón, el sector construcción viene aplicando los principios y prácticas desarrolladas en la industria para reducir desperdicios y mejorar la eficiencia en los proyectos.

Es importante conocer las definiciones de cada uno de los desperdicios para determinar cuáles están presentes y la actividad y cuáles se deben reducir para conservar la calidad y garantía. Además, se ha incluido un desperdicio adicional al que se puede llamar el octavo desperdicio, que ha sido incluido tiempo después de lo propuesto por Ohno, y es el del talento humano, el cual es esencial en este trabajo de tesis. La figura 11 numera y detalla los ocho desperdicios que se puede encontrar en la construcción:



Figura 11. Los ocho desperdicios de la construcción.

Fuente: leanmanufacturinghoy.com

- Transporte: movimientos innecesarios realizados por personas, equipos o materiales de un proceso a otro
- Inventario: recurso, material o producto que excede en cantidad a la mínima para realizar una actividad o trabajo
- Movimiento: movimientos innecesarios de personas o movimientos que no agregan valor
- Esperas: tiempo de espera durante un proceso ya sea por personas o maquinaria
- Sobre proceso: trabajo o servicio adicional que no agrega valor y no es percibido por el cliente
- Sobre producción: producción en exceso o con demasiada antelación
- Defectos (retrabajo): cualquier repetición de trabajo realizado para corregir el producto después de terminado
- Talento Humano: desaprovechar las habilidades y propuestas de mejorar o innovar de los trabajadores

2.2.1.6 Círculo de Deming (PDCA o PHVA)

El Círculo de Deming o Ciclo PDCA por sus siglas en inglés “*Plan, Do, Check, Act*” es también conocido en español como “Planificar, Hacer, Verificar, Actuar” o Ciclo PHVA, la cual es una metodología del autor Edwards Deming. Este método consiste en

emplear una iteración de cuatro procedimientos para optimizar un proceso, la calidad, la productividad y reducir los desperdicios de este. El ciclo se compone de cuatro pasos cíclicos de forma que una vez acabada la etapa final se debe volver a la primera para repetir el ciclo periódicamente y poder incluir mejoras. La figura 12 nos muestra las cuatro etapas con mayor detalle y su secuencia.



Figura 12. Ciclo de mejora continua.

Fuente: wikidot.com

A continuación, se describirán cada uno de los pasos del ciclo:

a. Planificar (*Plan*):

En primer lugar, se debe identificar la actividad a mejorar y se deben establecer claramente los objetivos a proponer. Es recomendable ejecutar esta etapa en conjunto con el grupo de trabajo. Además, es de suma importancia escuchar las opiniones del personal obrero pues ellos son los que realizan la actividad día a día y podrán proponer mejoras o expresar sus ideas. Si en la actividad se pueden implementar nuevas tecnologías se sugiere evaluarlas tanto en campo como en costos. Finalmente, se definen los métodos, procesos y herramientas a usar para lograr el objetivo.

b. Hacer (*Do*):

En esta segunda fase se debe coordinar y compartir la información con el personal encargado de la actividad para realizar correctamente las tareas planificadas y se ponen a prueba los cambios o mejoras. El periodo de prueba es variable según la actividad, pero se debe tomar en cuenta que este no debe afectar a la producción diaria de la empresa.

c. Verificar (*Check*):

Para revisar los resultados se debe de elegir una herramienta de control (carta balance, tabla de datos, histogramas, KPI's, etc.) que permita medir y comparar la información tomada en campo. En caso solo se desee evaluar si la prueba ha funcionado, se sugiere que en la fase de planificación se definan los métodos de evaluación y el puntaje mínimo para la toma de decisiones.

d. Actuar (*Act*):

Esta es la última fase en la que se debe analizar los resultados. En caso de ser positivos, se empleará la mejora; caso contrario, se deberá decidir qué cambios realizar para volver a realizar el ciclo o si se debe desechar la idea. Es recomendable que con cierta frecuencia se analicen nuevamente las actividades con este procedimiento para optimizar las actividades o procesos constructivos.



3. Características técnicas de equipos y materiales del proyecto “Condominio Multifamiliar Villanova”

3.1 Planta de concreto

El proyecto desde su inicio en el 2015, emplea una planta de concreto designada a la fabricación de concreto para los edificios del proyecto. En promedio la planta produce 55 metros cúbicos diarios de concreto para abastecer los vaciados de muros y losas. Sin embargo, lo que involucraba vaciados de plateas de cimentación para el próximo edificio, veredas, sótanos para estacionamientos, cimentaciones para cerco perimétrico o algún otro elemento que no forme parte de la obra gruesa del edificio, era vaciado empleando concreto premezclado y bomba, de ser necesario, para no interferir con los vaciados del edificio.

Con la finalidad de reducir los costos y optimizar los recursos, se realizó una reevaluación y mejora en la programación del uso de la planta de concreto para poder vaciar las plateas de cimentación de los edificios próximos. Se requería eliminar el concreto premezclado en dicho elemento debido a que el volumen requerido es en promedio 350 m³ por edificio y generaba una oportunidad de ahorro. Cabe resaltar que para los vaciados de muros y losas en el edificio se emplea el uso una torre grúa y planta de concreto en el horario de 11:00 am a 6:00 pm con una velocidad máxima de vaciado es de 10,5 m³/h.

La planta de concreto que posee el proyecto es de marca y modelo Piccini Robomix (RBX) 1500 como se muestra en la figura 13. Este equipo cuenta con las siguientes características técnicas que nos servirán para el desarrollo del trabajo de tesis:

- Capacidad de carga:	1,50 m ³
- Capacidad efectiva:	0,90 m ³
- Ciclo de fabricación:	3 min
- Producción máxima por hora:	18,00 m ³ /h
- Horario de vaciado (edificios):	11:00 am a 6:00 pm



Figura 13. Planta de concreto Piccini RBX 1500
Fuente: propia.

A continuación, con ayuda de siguiente figura, se detallan los componentes y accesorios de la planta de concreto RBX 1500:

- a. Bolo, cuba o trompo mezclador
- b. Balanza de cemento
- c. Balanza de agregados
- d. Faja transportadora
- e. Sinfín rompe sacos
- f. Tolva rompe sacos con tapa
- g. Dos brazos razcantes con cangilones

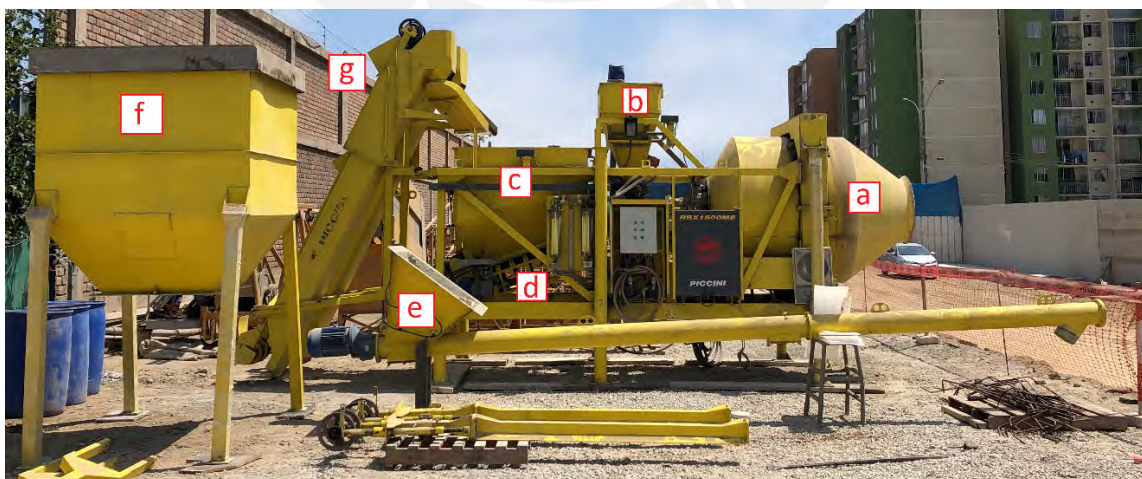


Figura 14. Componentes y accesorios de la planta de concreto Piccini RBX 1500
Fuente: propia.

Este equipo para producir concreto requiere de acopio de agregados (arena gruesa y piedra chancada), punto de conexión de agua, aditivos y cemento. Para acopiar correctamente los agregados, se requiere de accesos para que ingresen los volquetes a descargar el material y de una retroexcavadora para acomodar el material frecuentemente (cada 40 o 50 min en una producción “normal” de 10,5 m³/h). La figura 15 nos muestra la rampa de acceso al silo de cemento, el área de acopio de la piedra (izquierda) y el área de acopio de arena gruesa (derecha).



Figura 15. Zonas de carga de cemento y acopio de agregados
Fuente: propia.

El cemento se carga empleando una retroexcavadora, la cual se puede apreciar en la figura 16, que carga los sacos de cemento (big bag de 2 toneladas) y sube por la rampa hasta la tolva de cemento que cuenta con un anillo dentado (rompesacos) en su interior. En el proyecto se requiere de dos personas para realizar la producción del concreto y se detalla a continuación su cargo y funciones:

- Operador de planta de concreto: encargado de la operación y mantenimiento de la planta. A este trabajador se le envía semanalmente un cronograma de volúmenes de vaciado por día. Además, la constructora cuenta con un servicio de asesoría externa de concreto que supervisa dos veces al mes los resultados de la producción para optimizar la dosificación del concreto y poder reducir costos.
- Técnico de planta de concreto: es el encargado de realizar los ensayos al concreto y a los agregados (slump, temperatura, granulometría, etc.). Las funciones más importantes del técnico son el muestreo y curado de las probetas a 7 y 28 días. Con la finalidad de reducir las esperas y/o tiempos muertos, el trabajador elegido para realizar las funciones de técnico es el rigger de la torre grúa para que pueda recibir y enviar el

balde con concreto. Cabe resaltar que el trabajador que se elija para realizar dichas actividades debe ser capacitado y evaluado para obtener resultados certeros.



Figura 16. Retroexcavadora descargando big bag de cemento
Fuente: propia.

3.2 Retroexcavadora

Al igual que con la planta de concreto, desde el inicio del proyecto, la constructora adquirió una retroexcavadora y es esta la que realiza las distintas actividades del proyecto como el acarreo de materiales, abastecimiento de la planta de concreto, excavaciones localizadas, entre otros. En la figura 17 se puede apreciar la retroexcavadora asignada al proyecto es una JCB 3C que se eligió debido de su buen desempeño y a su bajo costo.



Figura 17. Retroexcavadora JCB 3C
Fuente: www.jcb.com

El proyecto contemplo la compra del equipo con los siguientes accesorios:

- Cucharón (cargador)

Empleado para acarrear y abastecer de arena y piedra a la planta. Además, cada vez que se produce 10 metros cúbicos de concreto (cada 40 o 50 min), se requiere que la retroexcavadora acomode los agregados en su zona de acopio para que el brazo razcante (cadena de cangilones) pueda transportar sin dificultad. Por otro lado, usualmente, el proyecto requiere de acarreo de materiales para otras actividades (concreto, tierra de chacra, arena fina, arena gruesa, piedra de zanja, piedra chancada, entre otros) por lo que se programan los acarreos con la retroexcavadora semanalmente. De igual manera, se emplea para cargar desmonte de material excavado en volquetes y luego este sea transportado a botaderos autorizados. A continuación, la figura 18 muestra la capacidad del cucharón y la figura 19 muestra las dimensiones.

CARGADOR ESTANDAR	
	4x4
	lb (kg)
Fuerza máxima de rompimiento	11730 (5322)
Capacidad de elevación a alt. max.	6750 (3062)

Figura 18. Capacidad del cargador de la retroexcavadora JCB 3C
Fuente: www.jcb.com

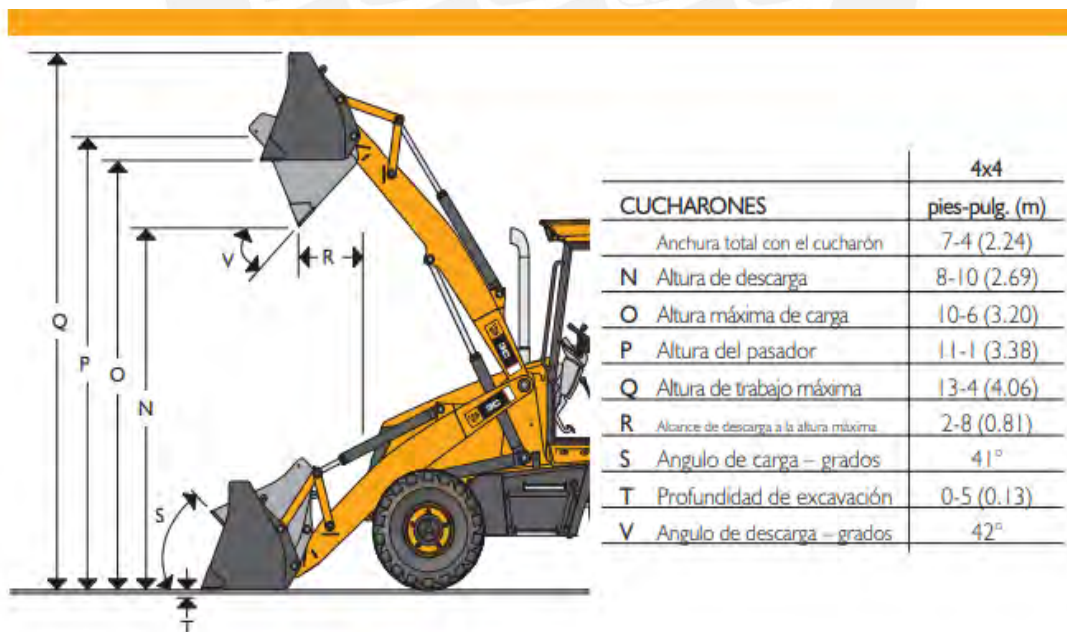


Figura 19. Dimensiones del cargador de la retroexcavadora JCB 3C.
Fuente: www.jcb.com

- Horquillas

Empleadas para acarrear y abastecer de materiales a las actividades de acabados. Entre el periodo de las 8:00 am a 10:00 am se transportan materiales con la retroexcavadora hacia el pie del edificio. Se colocan las horquillas para transportar todo material que venga en parihuela (pallet) como, por ejemplo, puertas, ladrillos, drywall, cemento embolsado, entre otros. La ventaja de estas horquillas es que se adaptan a la medida de cualquier pallet ya que se puede cambiar de posición de las uñas. La figura 20 lista la capacidad de carga de las horquillas y la figura 21 muestra las dimensiones más representativas.

CARGADOR – Cucharón 6-en-1	
	4x4
	lb (kg)
Fuerza máxima de rompimiento	12127 (5502)

Figura 20. Capacidad de la horquilla de la retroexcavadora JCB 3C
Fuente: www.jcb.com



Figura 21. Dimensiones de la horquilla de la retroexcavadora JCB 3C
Fuente: www.jcb.com

3.3 Concreto

El concreto producido en el proyecto cumple con estándares de calidad y su control es supervisado por un tercero como se mencionó anteriormente. Esta empresa tercera se

encarga de enviar la dosificación del concreto basándose en el tipo de cemento, aditivos y agregados que se emplean en el proyecto. Además, realiza un seguimiento al concreto fabricado a través del análisis e interpretación de la información proveniente de los ensayos a compresión de las probetas o testigos y en caso de que los valores obtenidos sean superiores a la resistencia requerida, se puede optimizar la dosificación periódicamente. El objetivo de esta práctica es disminuir la cantidad de cemento y aditivos los cuales representan la mayor parte del costo del concreto. A continuación, en la figura 22 se detalla la dosificación usada en el proyecto Condominio Multifamiliar Villanova:

Dosificación para Muro-Losa $f'c$ 210 kg/ck2 slump 8" (Para 1.00m³)		
Insumo	Unidad	Cantidad
Cemento Portland Tipo I - Quisqueya Uso Estructural	kg	250.00
Agua máxima	L	212.00
Arena gruesa - Cantera Trapiche	kg	930.00
Piedra chancada huso 67 - Agrecom	kg	880.00
Aditivo Master Pozolith 126 (Retardante)	L	1.00
Aditivo Master Rheobuild 1201 (Plastificante)	L	3.30

Figura 22. Dosificación de concreto para el proyecto
Fuente: propia.

Para verificar y validar las características requeridas del concreto producido, el técnico de la planta realiza diariamente diversos ensayos cuya información es enviada a la empresa tercera que brinda la asesoría para que analice la viabilidad de optimizar la cantidad de cemento, dichos ensayos se detallan a continuación:

- Análisis granulométrico de los agregados:

Es realizado en base a las normas NTP 400.012 y ASTM C 136. Este consta de evaluar los porcentajes que pasan los tamices, así como el contenido de finos que debe ser controlado constantemente para evitar inconvenientes en el concreto como, por ejemplo, la pérdida del *slump*. El procedimiento se realiza tres veces por semana a cada agregado ya que, si bien se compra a la misma cantera, puede que el material haya cambiado sus propiedades en otra veta.

- Contenido de humedad de los agregados:

Realizado en base a las normas NTP 339.185 y ASTM C 566, y consiste en obtener el porcentaje de humedad que contiene cada agregado para considerarlo dentro

del agua máxima que debe tener la mezcla de diseño. Al igual que la granulometría, este proceso se realiza tres veces por semana en verano y una vez si es invierno, ya que en Lima no suele llover considerablemente.

- Elaboración y curado de probetas o testigos de concreto:

El procedimiento se realiza en base a las normas NTP 339.183 y ASTM C 192 y consta de fabricar cuatro testigos, como mínimo por cada tipo de concreto en el día, de los cuales, dos se ensayarán a 7 días y los dos restantes a 28 días. En la figura 23 se muestra al técnico de la planta realizando la preparación de los testigos. Al llegar a su fecha de curado, los testigos serán enviados a ensayar a un laboratorio externo como máximo un día después de la fecha cumplida. Es de suma importancia evaluar el método de transporte de los testigos desde el proyecto hacia el laboratorio externo para contar con los resultados más precisos y sin dispersión. Se sugiere emplear cajas de madera, como se puede observar en la figura 24, para transportar los testigos y, de esta manera, evitar que se dañen.



Figura 23. Preparación de testigos en campo

Fuente: propia.



Figura 24. Transporte de testigos en cajones individuales

Fuente: propia.

- Análisis de temperatura de concreto fresco:

Este procedimiento se realiza en base a las normas NTP 339.033 y ASTM C31. Para tomar la temperatura se debe emplear un termómetro certificado con un largo mínimo de sensor de 30 cm. Este ensayo es importante para poder determinar si la temperatura se encuentra dentro del rango normado por el RNE, la cual indica que la temperatura del concreto al ser colocada no deberá ser mayor a 32°C. Altas temperaturas pueden ocasionar la caída violenta de *slump*, formación de cangrejeras o juntas frías. La toma de temperatura para que sea más efectiva se puede realizar empleando una carretilla con concreto, que después del ensayo, el concreto será empleado para realizar los testigos. Este procedimiento se realiza a diario y en la siguiente figura se puede observar el termómetro en el concreto fresco.



Figura 25. Control de temperatura en el concreto fresco

Fuente: propia.

- Ensayo para la medición del asentamiento:

Este procedimiento se realiza empleando las normas NTP 339.035 y ASTM C143. Es necesario realizar a diario para verificar el *slump* o asentamiento del concreto fresco, así como falla que se produce en el ensayo. Para llevar a cabo el proceso, se emplea un cono, varilla y base que cumplan con la normativa. Se debe obtener una falla normal en el concreto, ya que es indicador de buena plasticidad y cohesión, es decir, genera una baja probabilidad de formación de cangrejas. A continuación, la figura 26 muestra la medición del asentamiento con el uso de los implementos certificados.



Figura 26. Medición del asentamiento (slump) del concreto
Fuente: propia.

4. Evolución de los procesos de vaciado en sótanos del proyecto “Condominio Multifamiliar Villanova”

4.1 Generalidades

El proyecto Villanova es considerado un proyecto de desarrollo horizontal que comenzó a ejecutarse en el año 2015 y tiene una proyección de término para el 2024. Como se mencionó anteriormente, consta de 5 etapas y cada una de ellas cuenta con estacionamientos en sótanos a un lado de los edificios. En la figura 27 se puede observar cómo se han desarrollado los sótanos hasta el momento. A la fecha el proyecto se encuentra ejecutando la Etapa 4; sin embargo, la mejora se implementó en la Etapa 3.

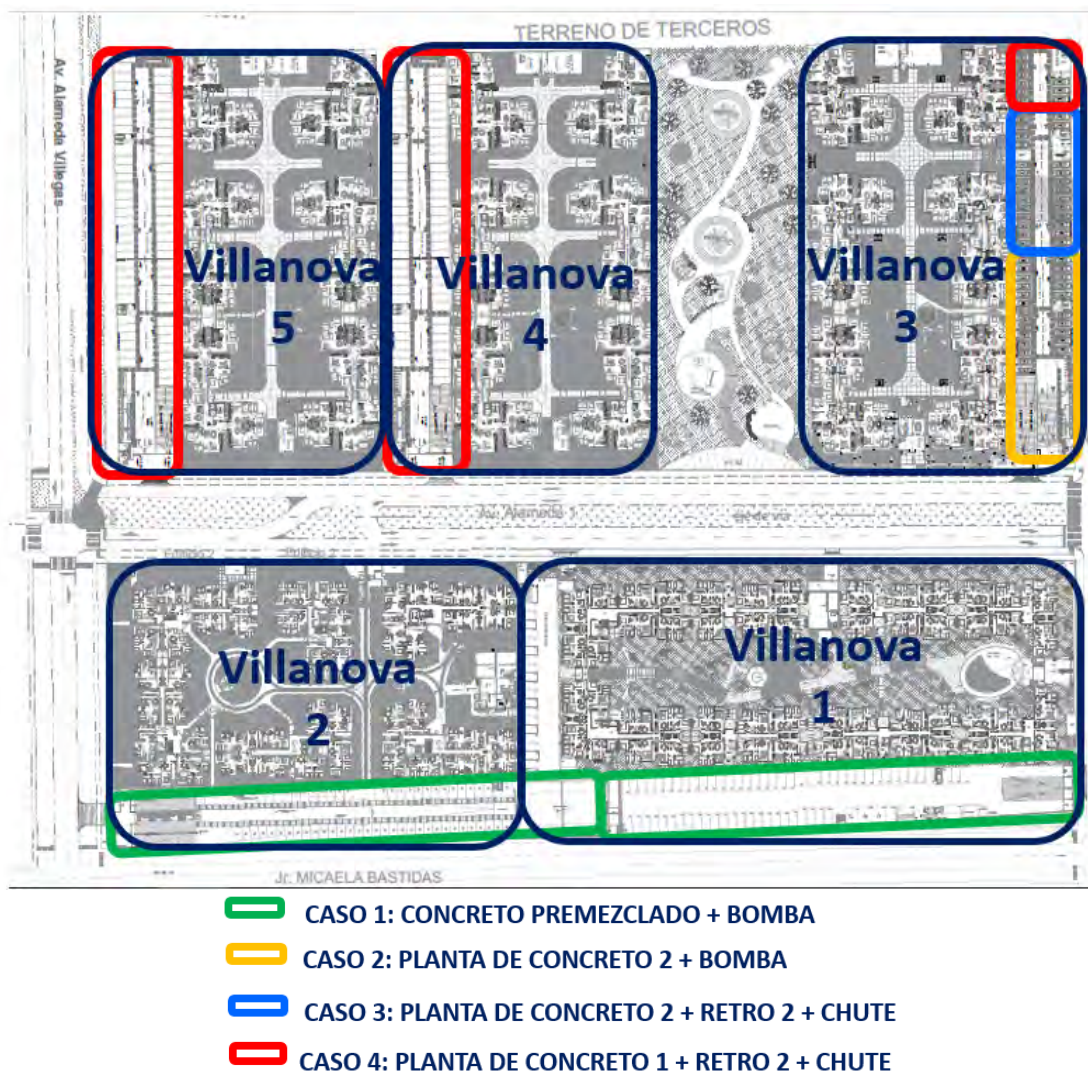


Figura 27. Planimetría del proyecto Villanova – 5 Etapas

Fuente: propia.

En la Etapa 1 y 2 se empleó concreto premezclado y bomba, ya sea estacionaria o pluma, para realizar los vaciados. Antes de iniciar la Villanova Etapa 3, en el proyecto se tenía bajo custodia una planta de concreto y retroexcavadora de iguales características a

las de Villanova, pero que eran de otro proyecto. Por lo que, de forma extraordinaria, el proyecto contaba con dos plantas de concreto y dos retroexcavadoras, de modo que fue posible realizar las propuestas de mejora que se desarrollarán en el presente trabajo de tesis.

Dentro de los alcances de los sótanos del proyecto Villanova Etapa 3, se cuenta con 3 niveles de estacionamientos, los cuales corresponden al sótano 2, sótano 1 y estacionamientos a nivel. En el sótano 2 se encuentra el cuarto de bombas y las cisternas tal como se puede observar en la figura 28. Además, se cuenta con la siguiente información:

- Área por construir: 8 805 m²
- Concreto en verticales: 676 m³
- Concreto en losas suspendidas: 703 m³
- Concreto en pavimento: 275 m³
- Cantidad total de concreto a vaciar: 1 654 m³

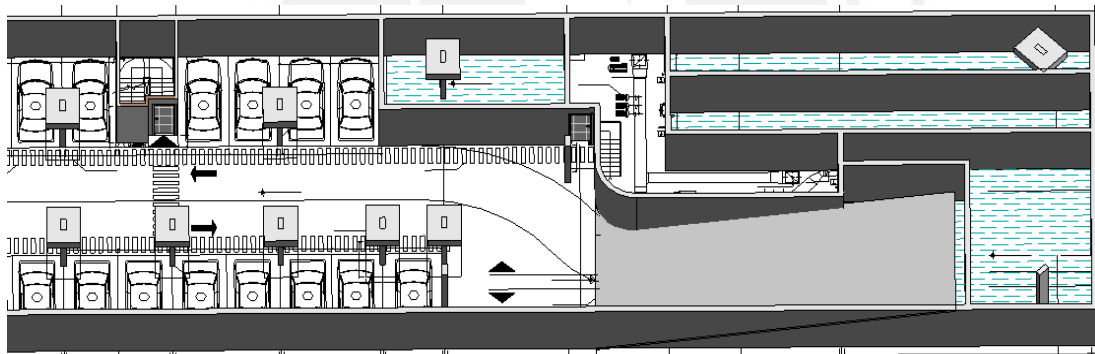


Figura 28. Modelo de estacionamientos, cisternas y cuarto de bombas en sótanos
Fuente: propia.

4.2 Caso N°1: Concreto premezclado + Bomba

Es posible afirmar que este caso es el estado del arte de gran parte de los proyectos en general (verticales y horizontales). Algunos proyectos horizontales cuentan con una planta de concreto que está designada a la preparación para los vaciados de los edificios de vivienda; sin embargo, para las obras exteriores aún continúan utilizando concreto premezclado. A continuación, se mostrará el análisis de costo unitario (ACU) de este caso n°1 basado en los precios del mercado que se obtuvieron durante el estudio del caso:

CONCRETO PREMEZCLADO F'C=210KG/CM2 SLUMP 4"-6"					
Rendimiento	m3/DIA	40.00	COSTO POR M3 S/.		267.80
Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales					
CONCRETO PREMEZCLADO F'C 210 KG/CM2 SLUMP 4"-6		m3	1.0300	225.00	231.75
					231.75
Equipos					
BOMBA DE CONCRETO (MIN 30M3)		m3	1.0300	35.00	36.05
					36.05

Figura 29. Análisis de costo unitario para el caso n°1

Fuente: Elaboración propia.

De la figura anterior se puede notar que el costo por metro cúbico (m3) al emplear concreto premezclado y bomba es de 267,80 nuevos soles más IGV. En el análisis de costo unitario se ha considerado un 3% de desperdicio al concreto premezclado debido a que se siempre se considera pedir más concreto por desperdicio y, por ende, ese concreto en teoría también se bombea. Por ello, la bomba también se ve afectada por dicho desperdicio.

4.3 Caso N°2: Planta de concreto 2 + Bomba

En proyectos repetitivos como es el caso del proyecto Villanova es posible realizar mejoras a los procesos constructivos con la finalidad de reducir los costos. Por esta razón, para superar al estado del arte, se analizaron otros procesos de vaciado y, como se mencionó anteriormente, el proyecto contaba con una segunda planta de concreto en custodia. En adelante, se aplicará la metodología de este trabajo para mejorar cada caso y para ello se empezará con la identificación de los desperdicios presentes en el proceso de vaciado con concreto premezclado y el uso de una bomba de concreto (caso n°1), los cuales son detallados a continuación:

I. Identificación de desperdicios:

- Sobreproducción:

Usualmente el concreto es solicitado con un porcentaje de merma adicional debido a que el concreto se comercializa en metros cúbicos redondeados a comparación de una planta de concreto que fabrica el cubicaje requerido.

- Esperas:

El tiempo de llegada entre unidades con concreto o la disponibilidad de la bomba alquilada generan esperas. Además, las unidades se ven afectadas por factores externos al proyecto como el tráfico, problemas mecánicos o descoordinaciones del proveedor. De igual manera, la disponibilidad de la bomba puede generar alteraciones en el cronograma de trabajo.

- Sobre procesamiento:

El concreto premezclado y el servicio de bombeo no agregan valor pues el concreto fabricado en el proyecto cumple con estándares de calidad y supervisión. Además, sea premezclado o fabricado en obra, este no es percibido por el cliente, no agrega valor siempre y cuando se mantenga la calidad.

A continuación, se aplicará el ciclo PHVA para implementar las mejoras al proceso anterior partiendo de la eliminación de los desperdicios y empleando los 04 pasos del ciclo:

II. Planificar:

Para mejorar el proceso del estado del arte (caso 1) se considerarán los siguientes objetivos:

- Emplear la segunda planta de concreto del proyecto para los vaciados de los sótanos
- Alquilar una bomba pluma o estacionaria al pie del bolo de la planta de concreto para los vaciados
- Eliminar el subcontrato del concreto premezclado y por ende el sobre costo de este servicio
- Reducir la sobreproducción del concreto a la cual se le considera como desperdicio en el premezclado
- Reducir las esperas generadas por el premezclado

III. Hacer

En la figura 30 se puede observar la implementación de la planta de concreto con los agregados en la zona de los cangilones y los big bag de cemento acopiados en el cerco perimétrico del proyecto. Asimismo, al pie del bolo de la planta se ha ubicado una bomba estacionaria. Si bien la planta es propia, la bomba estacionaria pertenece a una subcontratista.



Figura 30. Fotografía del encofrado de techo del sótano 1 de Villanova Etapa 3
Fuente: Propia.

Dentro de las mediciones que se realizaron, se obtuvieron rendimientos de vaciado de 11m^3 por hora de trabajo con lo cual se pudo estimar que, para lograr los 40m^3 de vaciado mínimos por día del subcontrato de la bomba, el vaciado demoraría alrededor de 4 horas en solo colocación de concreto. Luego de ello, se debe contemplar el fraguado inicial para poder iniciar con el acabado semipulido, pulido o frotachado a las losas macizas.

IV. Verificar

Se empleará al análisis de costo unitario (ACU) para evaluar la rentabilidad de este caso n°2 en el que se emplearon tanto una planta de concreto propia como una bomba estacionaria o pluma en alquiler a un subcontratista. En la figura 31 se puede observar los resultados del ACU del concreto en obra bombeable:

CONCRETO EN OBRA BOMBEABLE F'C=210KG/CM2 SLUMP 8" - SOTANO							
Rendimiento	m3/DIA	MO.	40.00	EQ.	40.00	COSTO POR M3 SI.	242.75
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Si.	Parcial Si.
Mano de Obra							
OPERADOR DE PLANTA DE CONCRETO		hh		1.00	0.24	29.82	7.16
TÉCNICO DE PLANTA DE CONCRETO		hh		1.00	0.09	21.83	1.98
OPERADOR DE RETROEXCAVADORA		hh		1.00	0.05	31.40	1.57
							10.71
Materiales							
CEMENTO PORTLAND TIPO I U. ESTRUCTURAL BIG BAG		kg		250.00	0.35	87.93	
ARENA GRUESA - TRAPICHE		m3		0.56	48.00	26.89	
PIEDRA CHANCADA 1/2" HUSO 67 - AGRECOM		m3		0.62	36.12	22.23	
ADITIVO PLASTIFICANTE MASTER RHEOBUILD 1201		l		3.30	5.10	16.83	
ADITIVO RETARDANTE MASTER POZOLITH 126		l		1.00	3.90	3.90	
PETROLEO D-2 PARA RETROEXCAVADORA		gal		0.10	12.00	1.20	
ENERGIA (ENEL) PARA PLANTA DE CONCRETO		kW		12.00	0.22	2.65	
							161.62
Equipos							
PLANTA DE CONCRETO PICCINI RBX 1500		m3		1.01	33.51	33.85	
BOMBA ESTACIONARIA DE CONCRETO (MIN 30M3)		m3		1.01	35.00	35.35	
RETROEXCAVADORA JCB 3C		hm		0.05	24.41	1.22	
							70.42

Figura 31. Análisis de costo unitario del caso n°2

Fuente: Elaboración propia.

A partir de aquí, se detallará el procedimiento para realizar el análisis de costo unitario del caso n°2:

- Mano de obra

El costo de mano de obra por hora hombre (hh) se han calculado en base a la tabla salarial emitida por CAPECO y se pueden observar en la siguiente figura.

CATEGORIA	COSTO HH* (S/.)
OPERARIO	23.77
OFICIAL	17.21
PEON	15.54

Figura 32. Costo de hora hombre en el proyecto Villanova con todos los beneficios incluidos según tabla salarial de CAPECO

Fuente: Elaboración propia.

Además, se considera que los operadores de cada equipo y el técnico cuentan con un bono mensual por responsabilidad y por el tipo de trabajo que desarrollan día a día. Por ello, si bien las tres personas que desarrollan la actividad son operarios, tienen considerado un bono por lo que el precio de hora hombre es mayor al de un operario.

En el proyecto Villanova, el jornal laboral es de lunes a viernes por lo que las 48 horas semanales que se deben trabajar están distribuidas entre 5 días, lo cual resulta en 9,6 hh diarias. Además, diariamente se debe vaciar 40 m³ de concreto (25 m³ en losas y 15 m³ en muros) por lo que el rendimiento será considerado como 40 m³/Día. Como se mencionó anteriormente, el rendimiento por hora de vaciado con el caso n°2 es de 11 m³/h, con este rendimiento se obtendrá las horas máquina y hombre que requiere equipo y personal, respectivamente.

a. Operador de planta de concreto:

El operador está encargado, al igual que la planta, de solo vaciar concreto para los sótanos por lo que todo el día (9,6 hh) está laborando en la planta. No solo se dedica a preparar concreto sino también a realizar los mantenimientos diarios y ensayos a los agregados puesto a que igual se requiere la información para validar la calidad del concreto. Con ello, se calcula el tiempo en hora hombre que requiere fabricar un metro cúbico de concreto:

$$Cantidad = \frac{n^{\circ} \text{ trabajadores } \times \text{ jornal laboral (hh)}}{\text{rendimiento diario}}$$

$$Cantidad = \frac{1 \times 9,6(\text{hh})}{40 \text{ m}^3} = 0,24 \frac{\text{hh}}{\text{m}^3}$$

b. Técnico de planta de concreto:

El técnico debe de realizar los controles al concreto fresco para verificar las características y calidad del concreto. Estas actividades son las de encofrar, desencofrar, elaborar y curar las probetas. Sin embargo, este trabajo se realiza solo al inicio del vaciado por lo que no es necesario contemplarlo todo el día y se le puede asignar otra actividad diariamente. Si se conoce que se vacía a razón de 11 m³/h y se deben vaciar 40 m³, solo se le requiere 3,63 horas (40/11). Con ello, se procederá a calcular el tiempo en horas hombres que requiere el técnico trabajar en la planta por metro cúbico de concreto:

$$Cantidad = \frac{n^{\circ} \text{ trabajadores } \times \text{ jornal laboral (hh)}}{\text{rendimiento diario}}$$

$$Cantidad = \frac{1 \times 3,63(\text{hh})}{40 \text{ m}^3} = 0,09 \frac{\text{hh}}{\text{m}^3}$$

c. Operador de retroexcavadora:

Como se mencionó en el acápite 4.2, la retroexcavadora debe realizar trabajos de abastecer de agregados y cemento a la planta de concreto cada que se producen 10 m³. Estos trabajos tienen una duración máxima de 30 minutos (0,5 hh) y los coordina directamente el operador de la planta con el de la retroexcavadora. Si se van a vaciar 40 m³ y el operador trabaja cada 10m³, quiere decir que debe ir 4 veces a la planta de concreto por 0,5 hh, es decir, trabajará un total de 2 hh. Con ello, se calculará el tiempo en horas hombres que requiere la retroexcavadora y el operador trabajar en la planta por metro cúbico de concreto:

$$Cantidad = \frac{n^{\circ} \text{ trabajadores } \times \text{ jornal laboral (hh)}}{\text{rendimiento diario}}$$

$$Cantidad = \frac{1 \times 2(hh)}{40 \text{ m}^3} = 0,05 \frac{hh}{\text{m}^3} \left(\frac{hh}{\text{m}^3} \right)$$

- **Materiales:**

En el caso de los materiales, se ha considerado los insumos para fabricar concreto según la dosificación del concreto y sus precios actualizados. Además, se ha considerado el petróleo que emplea la retroexcavadora que, según nuestras constantes mediciones se ha podido estimar que una retroexcavadora consume 2 galones por hora máquina (gal/hm). Si por cada metro cúbico se empleará 0,05 hm, se debe multiplicar por los 2 gal/hm y se obtiene una cantidad de 0,10 gal/m³. De igual manera, la planta de concreto estaba conectada a través de un transformador a un suministro de energía definitiva (ENEL) y que se estimó que consumía 12 kW por metro cúbico fabricado.

- **Equipos:**

Es de suma importancia realizar minuciosamente este detalle de costo de equipo cuando se trabajará con equipos que tienen un costo representativo para las compañías; por ello, a continuación, se detalla el procedimiento para estimar el costo de hora máquina:

a. Planta de concreto:

Una planta de concreto RBX 1500 cuesta aproximadamente 90 696 dólares lo cual incluye la planta, los dosificadores y el transformador para conectarla a un suministro de energía y prescindir de un grupo electrógeno. Acorde con la experiencia de la empresa, se ha considerado que una planta de concreto cuenta con una vida útil de 10 años. Y de

tener un uso constante genera un promedio de 49 181 nuevos soles en reparaciones anuales (mantenimientos preventivos, correctivos y repuestos). Como esta planta de concreto solo fabricaría anualmente un promedio de 1 654 m³ (cubicaje de un sótano ya que se construye uno al año), se considerará que no tendrá un uso constante y por ello solo se considerará el 50% del costo anual de reparación. Con ello se procede a realizar los cálculos:

- Planta de concreto Piccini RBX 1500

Tipo de cambio = 3,40

Precio lista = 90 696 dólares o 308 363 nuevos soles

Vida útil = 10 años

Costo de reparación anual (50%) = 24 590,50 nuevos soles

Costo anual (Precio lista/Vida útil) = 30 836,30 nuevos soles

Volumen anual de concreto que fabricará la planta = 1 654 metros cúbicos

$$\text{Costo de planta por m}^3 = \frac{\text{Costo anual} + \text{Costo de reparación anual (50\%)}}{\text{Volumen anual de concreto que fabricará la planta}}$$

$$\text{Costo de planta por m}^3 = 33,51 \frac{\text{nuevos soles}}{\text{m}^3}$$

b. Bomba estacionaria:

La más común es alquilar una bomba ya sea pluma o estacionaria y el costo se puede obtener del mercado. El precio promedio de alquiler de una bomba es de 35 nuevos soles por metro cúbico. En caso se quiera evaluar la compra de una, se deberá sustentar su uso ya que implica otros costos como el operador y el mantenimiento como se ha realizado anteriormente.

c. Retroexcavadora:

Al igual que la planta de concreto, una retroexcavadora JCB 3C en el mercado peruano cuesta 254 265 nuevos soles aproximadamente. Además, del histórico de los proyectos que maneja Constructora Cumbres, la vida útil de una retroexcavadora es de 10 años, y de tener un uso constante genera un costo promedio de 30 818,25 nuevos soles en reparaciones anuales (mantenimientos preventivos, correctivos y repuestos). Como se sabe, la retroexcavadora trabaja 9,6 horas máquina (hm) al día, en un mes se consideran

20 días y el año tiene 12 meses por lo que se considerarán 2 304 horas máquina (hm) al año.

- Retroexcavadora JCB 3C

Tipo de cambio = 3,40

Precio lista = 74 780 dólares o 254 265 nuevos soles

Vida útil = 10 años

Costo de reparación anual = 30 818,25 nuevos soles

Costo anual (Precio lista/Vida útil) = 25 426,50 nuevos soles

Horas máquina al año = 2 304 horas máquina

$$\text{Costo de retroexcavadora por hm} = \frac{\text{Costo anual} + \text{Costo de reparación anual}}{\text{Horas máquina al año}}$$

$$\text{Costo de retroexcavadora por hm} = 24,41 \frac{\text{nuevos soles}}{\text{hm}}$$

V. Actuar

Del resultado anterior, se puede observar que el costo por metro cúbico es de 242,75 nuevos soles por lo que si se resta con el costo del caso n°1 que es 267,80 se obtiene un ahorro unitario de 25,05 nuevos soles por metro cúbico con respecto al caso n°1. A continuación, se calculará el ahorro total que se podría haber obtenido empleando este proceso en todo el sótano de Villanova Etapa 3:

$$\text{Ahorro total} = \text{Ahorro unitario} \times \text{Cantidad total de m}^3 \text{ de concreto}$$

$$\text{Ahorro total} = 25,05 \times 1\ 654$$

$$\text{Ahorro total} = 41\ 437,33 \text{ nuevos soles}$$

Si todo el sótano de Villanova Etapa 3 de 1 654 m³ se hubiera vaciado con este caso n°2, se habría conseguido un ahorro de 41 437,33 nuevos soles; sin embargo, durante la aplicación del ciclo de mejora continua se pudo identificar nuevos desperdicios que generaba este proceso. Es por ello, que en el siguiente caso se aplicará una iteración a la metodología del presente trabajo para optimizar los costos.

4.4 Caso N°3: Planta de concreto 2 + Retroexcavadora 2 + Chute

Para mejorar, se analizaron otras formas de vaciar el concreto y se obtuvo la idea de este caso a través del uso del talento humano. En la figura 30 se puede observar que la

planta de concreto está ubicada cerca a los estacionamientos (aproximadamente a 5 metros). Adicional a ello, el proyecto, al igual que con la planta de concreto, contaba con una segunda retroexcavadora en custodia, de similares características y marca. Se realizó el mantenimiento general requerido y se iniciaron las pruebas de la nueva propuesta, la cual se llamará caso n°3. Este proceso consta en vaciar concreto hacia todos los elementos desde una zona superior empleando un chute y tuberías de 8” como canales hasta el punto de vaciado. La retroexcavadora recogería el concreto desde la planta y lo transportaría hasta el punto de instalación del chute.

Como se mencionó en el ítem 4.3, se aplicará nuevamente la metodología para optimizar el costo de este nuevo caso n°3. En primer lugar, se identificarán los desperdicios que generaba el caso n°2:

I. Análisis de desperdicios:

- Inventario:

En la figura 30, mostrada anteriormente, se puede observar el inventario que ha generado la falta de disponibilidad de la bomba para realizar los vaciados de concreto. Se debe recordar que la bomba depende de un subcontratista y la disponibilidad es según programación de cada proyecto. Se puede observar el área de losas encofradas al 100% (5 de 5 sectores) y el acero colocado a un 80% (4 de 5 sectores); sin embargo, el vaciado de concreto recién está iniciando en el sector 1.

- Esperas:

Se puede observar también el recorrido de la tubería de la bomba estacionaria hasta la zona de vaciado, el cual generaba esperas entre el montaje y desmontaje de piezas. Se sabe que conforme se va vaciando, se va recortando la tubería y esto genera esperas en el personal encargado del vaciado.

En conclusión, el caso n°2 cumple con las expectativas propuestas en la primera fase del ciclo de mejora continua; sin embargo, se debe eliminar las esperas generadas y que el proyecto esté supeditado a la disponibilidad de la bomba para optimizar el costo unitario y eliminar los subcontratos. A continuación, con los desperdicios ya identificados, se aplicará el método PHVA:

II. Planificar:

- Implementar el uso de una retroexcavadora adicional para el transporte y vaciado

- Ejecutar los vaciados con chute y tuberías de PVC para muros y losas
- Eliminar el subcontrato del alquiler de bomba
- Reducir las esperas en el vaciado de concreto
- Eliminar el inventario generado por los subcontratos y disponibilidad de equipos

III. Hacer

Para la ejecución, se informó a los integrantes de la cuadrilla de vaciado y preparación de concreto acerca de los objetivos del proceso, y del procedimiento de trabajo para que estén informados de las metas que se desean cumplir. Asimismo, con esta integración se esperaba obtener una retroalimentación en base a sus opiniones y sugerencias para optimizar el proceso de vaciado. En la figura 33 se puede observar a la retroexcavadora vertiendo el concreto al chute con ayuda del vigía.



Figura 33. Fotografía de la retroexcavadora 2 vaciando concreto para la losa de techo del sótano 2 de Villanova Etapa 3

Fuente: Propia.

Se puede observar en la figura 34 la estructura que se empleó para brindarle estabilidad a la tubería y los resultados del vaciado de las losas del sótano 2.



Figura 34. Vaciado de techo del sótano 2 de Villanova Etapa 3
Fuente: Propia.

El chute fabricado consta de tres mitades de cilindros metálicos que eran envases de los aditivos retardantes empleados en la fabricación del concreto y fueron soldados por el personal de obra. Se optó por soldar tres mitades de cilindro pues el cucharón de la retroexcavadora tiene un ancho de 2,40 m y el largo del chute debía ser mayor al del cucharón para evitar derramar concreto (desperdicio). Además, se le adaptó una estructura con parantes metálicos, los cuales eran sobrantes de las barandas metálicas que se fabrican para las terrazas del proyecto. Además, a la estructura se le adaptaron garruchas para facilitar su transporte. Finalmente, se le dio un ángulo de inclinación de 60 grados, pero este ángulo puede ser modificado como en la figura 35. Además, se realizó un agujero del mismo diámetro de la tubería de 8" (color naranja) para que esta ingrese al chute.



Figura 35. Fotografía del vaciado de concreto con el chute
Fuente: Propia.

Luego de realizar las primeras pruebas, se analizó el costo de este caso n°3 ya que la velocidad de vaciado del caso anterior (caso n°2) era de 11 m³/h y el de este caso (caso n°3) era de 6 m³/h. A continuación, se mostrará la verificación del proceso.

IV. Verificar

Como se mencionó anteriormente, el chute fabricado que se observa en la figura 33 no se ha considerado dentro del análisis de costo unitario debido a que fue elaborado con materiales reciclados con los que se contaba en el proyecto al igual que los parantes metálicos y entre otros; sin embargo, para este análisis sí se han considerado las tuberías ya que estas sufren desgaste y requieren de un cambio por lo que se considerarán como un consumible. En la figura 36 se puede observar el resultado del análisis de costo unitario (ACU) del caso n°3.

CONCRETO EN OBRA VACIADO CON RETROEXCAVADORA F'C=210KG/CM2 SLUMP 8" - SOTANO						
Rendimiento	m3/DIA	MO.	40.00	EQ.	40.00	COSTO POR M3 \$/. 219.77
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra						
OPERADOR DE PLANTA DE CONCRETO		hh	1.00	0.24	29.82	7.16
OPERADOR DE RETROEXCAVADORA (VACIADO)		hh	1.00	0.17	31.40	5.23
OPERADOR DE RETROEXCAVADORA (ABASTECIMIENTO)		hh	1.00	0.05	31.40	1.57
						13.96
Materiales						
CEMENTO PORTLAND TIPO I U. ESTRUCTURAL BIG BAG		kg		250.00	0.35	87.93
ARENA GRUESA - TRAPICHE		m3		0.56	48.00	26.89
PIEDRA CHANCADA 1/2" HUSO 67 - AGRECOM		m3		0.62	36.12	22.23
ADITIVO PLASTIFICANTE MASTER RHEOBUILD 1201		l		3.30	5.10	16.83
ADITIVO RETARDANTE MASTER POZOLITH 126		l		1.00	3.90	3.90
TUBERIA PVC 8"		und		4.00	0.34	1.35
PETROLEO D-2 PARA RETROEXCAVADORA		gal		0.44	12.00	5.28
ENERGIA (ENEL) PARA PLANTA DE CONCRETO		kW		12.00	0.22	2.60
						167.01
Equipos						
PLANTA DE CONCRETO PICCINI RBX 1500		m3		1.00	33.51	33.51
RETROEXCAVADORA JCB 3C (VACIADO)		hh		0.17	24.41	4.07
RETROEXCAVADORA JCB 3C (ABASTECIMIENTO)		hh		0.05	24.41	1.22
						38.80

Figura 36. Análisis de costo unitario del caso n°3

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se detalla el procedimiento para realizar el análisis de costo unitario del caso n°3:

- Mano de obra:

Al igual que en el caso 2, los precios de hora hombre son considerados con bono. Además, diariamente se debe vaciar 40 m³ de concreto (25 m³ en losas y 15 m³ en muros) por lo que el rendimiento será considerado como 40 m³/Día. Como se mencionó anteriormente, el rendimiento por hora de vaciado con el caso n°3 es de 6 m³/h, con este dato se puede obtener la cantidad de horas hombre que se requiere de cada equipo y personal.

a. Operador de planta de concreto:

El operador está encargado, al igual que la planta, de solo vaciar concreto para los sótanos por lo que todo el día (9,6 hh) está laborando en la planta. En este caso, el operador podrá realizar todos los trabajos que realizaba el técnico de la planta ya que la

velocidad de vaciado es menor. Por ello, se ha prescindido del técnico en este caso. Con ello, se estimará el tiempo en horas hombre que requiere fabricar un metro cúbico de concreto:

$$Cantidad = \frac{n^{\circ} \text{ trabajadores } \times \text{ jornal laboral (hh)}}{\text{rendimiento diario}}$$

$$Cantidad = \frac{1 \times 9,6(\text{hh})}{40 \text{ m}^3} = 0,24 \frac{\text{hh}}{\text{m}^3}$$

b. Operador de retroexcavadora (abastecimiento):

Como se mencionó en el acápite 4.2, la retroexcavadora debe realizar trabajos de abastecer de agregados y cemento a la planta de concreto cada que se producen 10 m³. Estos trabajos tienen una duración máxima de 30 minutos (0,5 hh) y los coordina directamente el operador de la planta con el de la retroexcavadora. Si se van a vaciar 40 m³ y el operador trabaja cada 10 m³, quiere decir que debe ir 4 veces a la planta de concreto por 0,5 hh, es decir, trabajará un total de 2 hh. Con ello, se estimará el tiempo en horas hombre que requiere la retroexcavadora y el operador trabajar en la planta por metro cúbico de concreto:

$$Cantidad = \frac{n^{\circ} \text{ trabajadores } \times \text{ jornal laboral (hh)}}{\text{rendimiento diario}}$$

$$Cantidad = \frac{1 \times 2(\text{hh})}{40 \text{ m}^3} = 0,05 \frac{\text{hh}}{\text{m}^3} \left(\frac{\text{hm}}{\text{m}^3} \right)$$

c. Operador de retroexcavadora (vaciado):

En este caso n°3, el operador de la retroexcavadora se dedicará netamente al vaciado con la segunda retroexcavadora. Si se van a vaciar 40 m³ a razón de 6 m³/h, quiere decir que se requiere de 6,67 hh del operador y de la retroexcavadora. En el tiempo restante la segunda retroexcavadora puede realizar otras actividades que se deben programar como, por ejemplo, acarreo de materiales para el sótano, excavaciones localizadas, entre otras. Con ello, se calculará el tiempo en horas hombre que requiere la retroexcavadora y el operador trabajar en el vaciado por metro cúbico de concreto:

$$Cantidad = \frac{n^{\circ} \text{ trabajadores } \times \text{ jornal laboral (hh)}}{\text{rendimiento diario}}$$

$$Cantidad = \frac{1 \times 6,67(\text{hh})}{40 \text{ m}^3} = 0,17 \frac{\text{hh}}{\text{m}^3}$$

- Materiales:

En el caso de los materiales, se ha considerado los insumos para fabricar concreto según la dosificación del concreto y sus precios actualizados. Además, se ha considerado el petróleo que emplean ambas retroexcavadoras que, según las constantes mediciones se ha podido estimar que una retroexcavadora consume 2 galones por hora máquina (gal/hm). Si por cada m³ se empleará 0,05 hm del equipo 1 y 0,17 del equipo 2, se multiplicará por los 2 gal/hm y se obtiene una cantidad de 0,44 gal/m³. De igual manera, la planta de concreto estaba conectada a través de un transformador a un suministro de energía definitiva (ENEL) y que estimó el consumo a 12 kW por m³ fabricado.

Adicionalmente se ha añadido el costo de las tuberías de PVC de 8" x 6 m que cada una cuesta 560 nuevos soles. Por la distancia hacia el punto más bajo del sótano se requerían un total de 4 tuberías. Se asume que las 4 tuberías deberán durar para todo un sótano por lo tanto se obtiene el precio de dividir los 560 nuevos soles entre los 1 654 metros cúbicos de concreto en los sótanos, con lo que se obtiene 0,34 nuevos soles por metro cúbico.

- Equipos:

Se considerará el procedimiento y costo unitario igual que en el caso n°2; sin embargo, esta vez se ha considerado dos veces el costo de la retroexcavadora pues ahora se están empleando dos equipos.

V. Actuar

Se puede notar que el costo por metro cúbico es de 219,77 nuevos soles por lo que si se resta con el costo del caso n°1 que es 267,80 se obtiene un ahorro unitario de 48,03 nuevos soles por metro cúbico con respecto al caso n°1. A continuación, se calculará el ahorro total que se podría haber obtenido empleando este proceso en todo el sótano de Villanova Etapa 3:

$$\text{Ahorro total} = \text{Ahorro unitario} \times \text{Cantidad total de m}^3 \text{ de concreto}$$

$$\text{Ahorro total} = 48,03 \times 1\ 654$$

$$\text{Ahorro total} = 79\ 440,62 \text{ nuevos soles}$$

Si todo el sótano de Villanova Etapa 3 de 1 654 m³ se hubiera vaciado con este caso, se habría conseguido un ahorro de 79 440,62 nuevos soles. Sin embargo, si bien se

han eliminado al 100% los subcontratos en el vaciado de sótanos (eliminación de premezclado y bomba), se tenía una segunda planta de concreto operativa y se debía analizar si era necesario emplearla o si la planta de concreto que realiza el vaciado de los edificios puede abastecer a todo el proyecto.

4.5 Caso N°4: Planta de concreto 1 + Retroexcavadora 2 + Chute

Luego de revisado el caso n°3, se procederá a emplear la metodología descrita en el ítem 1.6 para obtener el ciclo de mejora continua. En primer lugar, se identificará los desperdicios que generaba el caso anterior:

I. Análisis de desperdicios:

- Esperas:

Debido a que el rendimiento del vaciado de concreto decreció de 11m³/h a 6m³/h, se generaban esperas tanto al personal encargado de la colocación y acabado como al personal técnico que preparaba el concreto en la planta.

- Inventario:

El usar dos plantas de concreto sin antes haber analizado la capacidad de producción de cada una genera un inventario ya que cuando culminaba la actividad de preparación de concreto en planta para los sótanos, el personal técnico aún estaba presente debido a que deben cumplir con su horario de trabajo.

- Talento humano:

Como se mencionó en el ítem 4.3, se debe valorar la retroalimentación del personal que realiza las actividades en el día a día. De esta manera, es posible obtener soluciones y mejoras en los procesos de trabajo.

A continuación, con los desperdicios ya identificados, se aplicará el método PHVA:

II. Planificar:

- Verificar que la planta de concreto asignada vaciado de los edificios puede preparar concreto para vaciar los sótanos

- Analizar si la retroexcavadora es el equipo adecuado para el vaciado de concreto en los sótanos

- Evaluar si el sistema de chute y canaletas se puede mejorar fabricándolo de un material con mayor durabilidad y resistencia

- Obtener un cronograma macro que permita sectorizar y programar los vaciados de los sótanos

III. Hacer:

En primer lugar, se coordinó con el operador de la planta de concreto los trabajos y objetivos que se querían lograr. De ahora en adelante, se llamará planta de concreto centralizada a la planta asignada al vaciado de los edificios. Cabe resaltar que la planta dedicada a los sótanos (planta adicional) ya se encuentra desarmada y almacenada. En la figura 37 se puede observar que los baldes empleados por la grúa para transportar concreto no impiden que se despache concreto a la retroexcavadora. Por ello, se puede recoger concreto para los sótanos mientras se vacían los edificios.



Figura 37. Retroexcavadora esperando ser atendida por la planta de concreto centralizada
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se debe analizar si la retroexcavadora era el equipo adecuado para transportar el concreto y pues como el radio de la grúa no estaba dentro de los sótanos, este equipo se descartó. Por ello, se realizaron pruebas con un *Dumper* de capacidad de 1 metro cúbico como se puede observar en la figura 38.



Figura 38. Dumper transportando 0.9 metros cúbicos de concreto
Fuente: Propia.

Este equipo fue alquilado para realizar las pruebas por una semana; sin embargo, el equipo no satisfacía las necesidades del proyecto pues era lento y dependiente de otros equipos como, por ejemplo, en el caso de tener que realizar accesos para acercarse al chute o a zonas de vaciado, se requería de tiempo de retroexcavadora para conformar y nivelar el terreno. Finalmente, se decidió mantener como equipo de transporte a la retroexcavadora.

Por otro lado, las tuberías de PVC se deterioraban rápido y como eran cerradas, se obstruían con el concreto. Para desatorarlas se introducía el vibrador de concreto, pero generaba esperas y sobre procesos. Por ello, se decidió que, como el sistema funcionaba, se fabricarían con planchas metálicas de 4mm de espesor tanto para garantizar su resistencia como la durabilidad. Se fabricó un embudo y 4 canaletas de 3 metros de largo cada una para sustituir el sistema de tuberías de PVC y se mantuvo el chute fabricado en el caso n° 3 y las canaletas se entrelazan unas con otra a través de pernos para garantizar la rigidez como se puede observar en las figuras 39, 40 y 41.



Figura 39. Vaciado con chute, embudo y canaletas
Fuente: Propia



Figura 40. Embudo que recibe concreto del chute y lo transporta hacia las canaletas
Fuente: Propia.



Figura 41. Concreto transportado por gravedad en canaletas

Fuente: Propia.

Luego de realizadas las pruebas en campo, se traslada la información recogida al gabinete para pasar al tercer paso del ciclo PHVA.

IV. Verificar:

Se debe verificar si la planta de concreto centralizada puede producir el total de concreto (edificios y sótanos) sin generar esperas en el vaciado del edificio. A continuación, se detallará el procedimiento realizado para corroborar si es posible emplear una planta de concreto centralizada en el proyecto.

Se realizó la medición del tiempo desde que se recoge el balde de la planta de concreto, se traslada a la zona de vaciado, se descarga el balde y hasta que regresa a la planta.

- Ciclo de transporte del concreto por la grúa = 4 minutos

Con la ficha técnica y las características del balde certificado para transportar concreto se determinó el volumen que transporta para el vaciado de los edificios.

- Volumen promedio transportado por el balde con la grúa = 0,70 m³

De las mediciones realizadas para el vaciado del edificio, se empleará el dato de que cada 4 minutos la grúa torre realiza el ciclo que comprende desde que toma el balde, lo traslada al edificio y hasta que regresa a la planta. Para ello, se calculará la cantidad de concreto que requiere el edificio por hora.

- Producción de concreto para el edificio por hora:

$$n^{\circ} \text{ de ciclos por hora} = \frac{60 \text{ min}}{4 \text{ min}} = 15 \frac{\text{ciclos}}{h}$$

Velocidad de vaciado de edificios = n° de ciclos x volumen de balde (m³)

$$\text{Velocidad de vaciado de edificios} = 15 \left(\frac{\text{ciclos}}{h} \right) \times 0,7 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\text{Velocidad de vaciado de edificios} = 10,5 \frac{\text{m}^3}{h}$$

Finalmente, un dato importante que se puede tomar tanto de las características de la planta de concreto detalladas en el ítem 3.1 es que el tiempo de preparación de concreto es de 3 minutos en donde se incluye desde la dosificación de los agregados, aditivos, cemento y agua hasta el vertido al balde o la cuchara de la retroexcavadora. De igual manera, se empleará el dato de 0,9m³/ciclo que tiene de capacidad de la planta para producir concreto.

- Producción de la planta de concreto por hora = 18 m³/h

Al analizar que la planta de concreto puede producir 18 m³/h y los edificios requieren de 10,5 m³/h se puede determinar que se tiene una planta subutilizada, pues produce menos de su capacidad nominal. Además, se verificó con datos y mediciones que la retroexcavadora por su autonomía, alcance y dinámica puede vaciar todos los sótanos; sin embargo, el *dumper* solo podría vaciar el sótano 2 desde una gran altura debido al tipo de apertura de su batea. A continuación, la figura 42 muestra la elevación de vaciado con la retroexcavadora y el *dumper*.



Figura 42. Elevación de vaciado con equipos para análisis
Fuente: Propia.

Se analizó el cronograma requerido de trabajo para programar los vaciados de los sótanos. Cabe resaltar que la ruta crítica en el proyecto es todo lo involucrado con la obra gruesa (casco del edificio) por lo que no se debía de interrumpir ni generar esperas durante el vaciado del edificio. Antes de iniciar los vaciados del edificio como muros y losas, se debía ejecutar la platea de cimentación del edificio que tiene una duración total de ejecución de platea de un mes (excavaciones localizadas, instalaciones enterradas, acero en cimentación y concreto en platea), pero como vaciado de concreto solo demora 2 semanas. Por ello, antes de cada edificio se antepone una platea de cimentación. Los vaciados de muros y losas de los edificios tienen una duración total de 8 semanas. A continuación, en la figura 43, con la información recolectada se procede a realizar el cronograma macro de vaciados del proyecto Villanova.

MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	EDIFICIO 1 (8 SEMANAS)							EDIFICIO 2 (8 SEMANAS)							EDIFICIO 3 (8 SEMANAS)								
PLATEA	SÓTANO (6 SEMANAS)						PLATEA	SÓTANO (6 SEMANAS)						PLATEA	SÓTANO (6 SEMANAS)								
MES 7				MES 8				MES 9				MES 10				MES 11				MES 12			
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	EDIFICIO 4 (8 SEMANAS)							EDIFICIO 5 (8 SEMANAS)							EDIFICIO 6 (8 SEMANAS)								
PLATEA	SÓTANO (6 SEMANAS)						PLATEA	SÓTANO (6 SEMANAS)						PLATEA	SÓTANO (6 SEMANAS)								

Figura 43. Cronograma macro de vaciados propuesto

Fuente: Propia.

Se puede observar que el tiempo a programar y sectorizar en sótanos es de 06 semanas por cada intervalo de tiempo. Asimismo, se pueden ver los horarios de vaciado pues en el proyecto los edificios se vacían de 11:00 am a 18:00 pm por lo tanto entre las 8:00 am y las 11:00 am se vaciarán solo los sótanos a la velocidad de 6 m³/h que se obtuvo de las mediciones. Entre las 11:00 am y 18:00 pm se continuará vaciando los sótanos a la misma razón de 6 m³/h y los edificios a razón de 10,5 m³/h. En conclusión, en ambos horarios se está respetando la máxima producción de la planta de concreto por hora. A continuación, en la figura 44 se pueden ver los horarios propuestos para el vaciado de los sótanos.

HORARIOS DE VACIADO	SÓTANOS (m3/h)	EDIFICIO (m3/h)	TOTAL (m3/h)	
08:00am-11:00am	6.00		6.00	≤ 18 m3/h
11:00am-18:00pm	6.00	10.50	16.50	≤ 18 m3/h

Figura 44. Horarios de vaciado propuestos

Fuente: Propia.

Por ello, una vez verificada la información, se recurre al último paso del ciclo de mejora continua. Se actuará conforme a lo propuesto para cumplir los objetivos que ya han sido validados y se informa al personal a cargo los trabajos a realizar. En la figura 45 se puede observar que, con la retroexcavadora, se puede vaciar las losas contra terreno, losas suspendidas, muros y columnas con el uso del chute.



Figura 45. Vaciado de muro de sótano 1 con chute

Fuente: Propia.

Finalmente, se realizó el análisis de costo unitario del caso n°4, el cual se puede observar en la figura 46.

CONCRETO EN OBRA VACIADO CON RETROEXCAVADORA F'C=210KG/CM2 SLUMP 8"						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 40.00	EQ. 40.00		COSTO POR M3 S/	188.41
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/	
Mano de Obra						
OPERADOR DE PLANTA DE CONCRETO	hh	1.00	0.10	29.82	3.01	
TÉCNICO DE PLANTA DE CONCRETO	hh	1.00	0.10	21.83	2.21	
OPERADOR DE RETROEXCAVADORA (VACIADO)	hh	1.00	0.17	31.40	5.23	
OPERADOR DE RETROEXCAVADORA (ABASTECIMIENTO)	hh	1.00	0.05	31.40	1.57	
						12.02
Materiales						
CEMENTO PORTLAND TIPO I U. ESTRUCTURAL BIG BAG	kg		250.00	0.35	87.93	
ARENA GRUESA - TRAPICHE	m3		0.56	48.00	26.89	
PIEDRA CHANCADA 1/2" HUSO 67 - AGRECOM	m3		0.62	36.12	22.23	
ADITIVO PLASTIFICANTE MASTER RHEOBUILD 1201	l		3.30	5.10	16.83	
ADITIVO RETARDANTE MASTER POZOLITH 126	l		1.00	3.90	3.90	
EMBUDO Y CANALETAS METÁLICAS	glb		1.00	0.80	0.80	
PETROLEO D-2 RETROEXCAVADORA (VACIADO)	gal		0.33	12.00	4.00	
PETROLEO D-2 RETROEXCAVADORA (ABASTECIMIENTO)	gal		0.10	12.00	1.20	
ENERGIA (ENEL) PARA PLANTA DE CONCRETO	kW		12.00	0.22	2.60	
						166.38
Equipos						
PLANTA DE CONCRETO PICCINI	m3		1.00	4.72	4.72	
RETROEXCAVADORA JCB 3C (VACIADO)	hm		0.17	24.41	4.07	
RETROEXCAVADORA JCB 3C (ABASTECIMIENTO)	hm		0.05	24.41	1.22	
						10.01

Figura 46. Análisis de costo unitario del caso n° 4

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se detalla cómo se realizó el análisis de costo unitario del caso n°4:

- Mano de obra:

Los precios de mano de obra por hora hombre (hh) se han calculado en base a la tabla salarial de agosto del 2019. Además, se considera que los operadores de cada equipo y el técnico cuentan con un bono mensual por responsabilidad y por el tipo de trabajo que desarrollan día a día. Por ello, si bien las cuatro personas que desarrollan la actividad son operarios, tienen considerado un bono por lo que el precio es mayor al de un operario.

En el proyecto Villanova se labora solo de lunes a viernes por lo que las 48 horas semanales que se deben trabajar están distribuidas entre 5 días, lo cual resulta en 9,6 hh diarias. Además, diariamente se debe vaciar 40 m3 de concreto en sótanos (25 m3 en losas y 15 m3 en muros) y 55 m3 de concreto en los edificios (muros y losas por vaciado monolítico). Como se mencionó anteriormente, el rendimiento por hora de vaciado con el caso n°4 es de 6 m3/h, con este dato se puede obtener la cantidad de horas hombre que se requiere de cada equipo y personal.

a. Operador de planta de concreto:

El operador está encargado, al igual que la planta, de vaciar concreto para los edificios y sótanos por lo que todo el día (9,6 hh) está laborando en la planta. Por ello, se debe acumular el total de metros cúbicos a vaciar diariamente y dividirlo entre sus 9,6 hh. Con ello, se calculará el tiempo en hora hombre que requiere fabricar un metro cúbico de concreto:

$$Cantidad = \frac{n^{\circ} \text{ trabajadores } \times \text{ jornal laboral (hh)}}{\text{rendimiento diario}}$$

$$Cantidad = \frac{1 \times 9,6(\text{hh})}{(40 + 55) \text{ m}^3} = 0,10 \frac{\text{hh}}{\text{m}^3}$$

b. Técnico de planta de concreto:

Al igual que el operador de la planta, el técnico también trabajará todo el jornal en la planta de concreto. Con ello, se calculará el tiempo en hora hombre que requiere el técnico trabajar en la planta por metro cúbico de concreto:

$$Cantidad = \frac{n^{\circ} \text{ trabajadores } \times \text{ jornal laboral (hh)}}{\text{rendimiento diario}}$$

$$Cantidad = \frac{1 \times 9,6(\text{hh})}{(40 + 55) \text{ m}^3} = 0,10 \frac{\text{hh}}{\text{m}^3}$$

c. Operador de retroexcavadora (abastecimiento):

Al igual que en el caso n°3, la retroexcavadora que abastece a la planta de concreto solo realizaría actividades que carguen costo al sótano por 40 m³ diarios. Con ello, se determinará el tiempo en horas hombre que requiere la retroexcavadora y el operador trabajar en la planta por metro cúbico de concreto:

$$Cantidad = \frac{n^{\circ} \text{ trabajadores } \times \text{ jornal laboral (hh)}}{\text{rendimiento diario}}$$

$$Cantidad = \frac{1 \times 2(\text{hh})}{40 \text{ m}^3} = 0,05 \frac{\text{hh}}{\text{m}^3} \left(\frac{\text{hm}}{\text{m}^3} \right)$$

d. Operador de retroexcavadora (vaciado):

En este caso al igual que en el caso n°3, el operador de la retroexcavadora se dedicará netamente al vaciado con la segunda retroexcavadora. Si se van a vaciar 40 m³

a razón de 6 m³/h, quiere decir que se requiere de 6,67 hh del operador y de la retroexcavadora. En el tiempo restante la segunda retroexcavadora puede realizar otras actividades que se deben programar como, por ejemplo, acarreo de materiales para el sótano, excavaciones localizadas, entre otras. Con ello, se estimará el tiempo en horas máquina y horas hombre que requiere la retroexcavadora y el operador trabajar en el vaciado por metro cúbico de concreto:

$$Cantidad = \frac{n^{\circ} \text{ trabajadores } \times \text{ jornal laboral (hh)}}{\text{rendimiento diario}}$$

$$Cantidad = \frac{1 \times 6,67(\text{hh})}{40 \text{ m}^3} = 0,17 \frac{\text{hh}}{\text{m}^3} \left(\frac{\text{hm}}{\text{m}^3} \right)$$

- Materiales:

En el caso de los materiales, se ha considerado los insumos para fabricar concreto según la dosificación del concreto y sus precios actualizados. Además, se ha considerado el petróleo que emplean ambas retroexcavadoras que, según nuestras constantes mediciones se ha podido estimar que una retroexcavadora consume 2 galones por hora máquina (gal/hm). Si por cada m³ se empleará 0,05 hm del equipo 1 y 0,17 del equipo 2, se multiplica por los 2 gal/hm y se obtiene una cantidad de 0,44 gal/m³. De igual manera, la planta de concreto estaba conectada a través de un transformador a un suministro de energía definitiva (ENEL) y que estimó que consumía 12 kW por m³ fabricado.

Adicionalmente se está añadiendo el costo del embudo y las 4 canaletas metálicas que costaron un total de 2 520 nuevos soles más IGV. Al ser elementos metálicos, se puede asumir que su durabilidad será hasta el fin del proyecto, es decir, un total de 2 sótanos restantes y cada sótano con 1 654 m³ de concreto.

$$\text{Costo de embudo y canales por m}^3 = \frac{2\,520 \text{ nuevo soles}}{2 \times 1\,654 \text{ m}^3} = 0,80 \frac{\text{nuevos soles}}{\text{m}^3}$$

- Equipos:

Es de suma importancia realizar minuciosamente este detalle de costo de equipo cuando se trabajará con equipos que tienen costo representativo.

a. Planta de concreto:

Como esta planta de concreto fabricará el concreto para los sótanos y edificios, se considerará que tendrá un uso constante y por ello solo se considerará el 100% del costo anual de reparación. Con ello se procede a realizar los cálculos:

- Planta de concreto Piccini RBX 1500

Tipo de cambio = 3,40

Precio = 90 696 dólares o 308 363 nuevos soles

Vida útil = 10 años

- Costo de reparación anual (100%) = 49 181 nuevos soles

- Costo anual (Precio lista/Vida útil) = 30 836,30 nuevos soles

- Volumen anual de concreto en sótanos = 1 654 metros cúbicos

- Volumen anual de concreto en edificios = 15 300 metros cúbicos

Se asume que en un mes se tiene 20 días (5 días por semana y 4 semanas por mes) y 12 meses el año.

Volumen anual en muros y losas = Volumen diario x n° días del año

Volumen anual en muros y losas = 55 m³ x 20 días x 12 meses = 13 200 m³

Además, también se vaciarán las plateas de cimentación de los edificios que en promedio cada platea tiene 350 m³ y según el cronograma macro se vacían 6 plateas en un año.

Volumen anual en plateas = Volumen por platea x n° de plateas en un año

Volumen anual en plateas = 350m³ x 6 = 2 100m³

Entonces, se entiende que el volumen anual de concreto que fabricará la planta de concreto es del acumulado entre los sótanos y los edificios, es decir, un total de 16 954 metros cúbicos anuales.

$$\text{Costo de planta por m}^3 = \frac{\text{Costo anual} + \text{Costo de reparación anual (100\%)}}{\text{Volumen anual de concreto que fabricará la planta}}$$

$$\text{Costo de planta por m}^3 = \frac{(30\,836,30 + 49\,181) \text{ nuevos soles}}{169\,654 \text{ m}^3}$$

$$\text{Costo de planta por m}^3 = 4,72 \frac{\text{nuevos soles}}{\text{m}^3}$$

b. Retroexcavadora:

Al igual que en el caso n° 2 y 3, el proceso no ha hecho variar los datos de cada equipo. Solo que esta vez se considerará dos veces el costo de la retroexcavadora pues ahora se está empleando dos equipos.

4.6 Resultados

En la figura 47 se puede observar que se ha relacionado cada caso de estudio con sus respectivos desperdicios, asimismo, es posible notar que al intentar eliminar los desperdicios en cada ciclo de PHVA, han surgido otros desperdicios que anteriormente no se encontraban en el proceso. Pese a las constantes mejoras se puede notar que el desperdicio conocido como “esperas” ha estado presente en cada uno de los casos, por lo que se sugiere que, para próximos análisis, si se desea optimizar el caso n°4, que no es el final del proceso, se emplee el método de la carta balance para obtener el porqué de las esperas y poder implementar solución para minimizarla y reducir los costos de la actividad.

Análisis de desperdicios	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Transporte				
Inventario		x	x	
Movimiento				
Esperas	x	x	x	x
Sobre proceso	x			
Sobre producción	x			
Defectos				
Talento humano			x	

Figura 47. Resumen de los desperdicios en cada caso de estudio
Fuente: Elaboración propia.

Luego de analizar los resultados en cuanto a desperdicios, en la figura 48 se muestra el costo unitario de cada recurso (mano de obra, materiales y equipos) de concreto vaciado y su relación al porcentaje que representa con respecto al costo unitario total. Con ello, es posible notar la variación de costos por recurso y la reducción del costo unitario total en cada caso que se implementaron las mejoras del proceso.

Descripción / Caso	Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4	
	Costo (S/.)	%	Costo (S/.)	%	Costo (S/.)	%	Costo (S/.)	%
Mano de Obra	-	0%	10.71	4%	13.96	6%	12.02	6%
Materiales	231.75	87%	161.62	67%	167.01	76%	166.38	88%
Equipos	36.05	13%	70.42	29%	38.80	18%	10.01	5%
Total/m3	267.80	100%	242.75	100%	219.77	100%	188.41	100%

Figura 48. Comparación en base a costo de recursos de cada caso de estudio

Fuente: Elaboración propia.

De la figura 49, se puede observar que el ahorro unitario en el caso 4 con respecto al caso 1 es el siguiente:

$$\text{Ahorro unitario} = \text{Costo unitario del Caso 1} - \text{Costo unitario del Caso 4}$$

$$\text{Ahorro unitario} = 267,80 - 188,41$$

$$\text{Ahorro unitario} = 79,39 \text{ nuevos soles}$$

Ahorro en costo unitario	Costo unitario (S./m3)	Ahorro (S./m3)	Ahorro (%)
Caso 1	267.80		
Caso 2	242.75	25.05	9%
Caso 3	219.77	48.03	18%
Caso 4	188.41	79.39	30%

Figura 49. Ahorro en base al costo unitario con respecto al estado del arte (caso 1).

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, en la figura 49 se puede observar el ahorro en soles y en porcentaje de cada caso con respecto al costo unitario del estado del arte (Caso n°1). A continuación, se calculará el ahorro total que se podría haber obtenido empleando este proceso en todo el sótano de Villanova Etapa 3:

$$\text{Ahorro total} = \text{Ahorro unitario} \times \text{Cantidad total de m3 de concreto}$$

$$\text{Ahorro total} = 79,39 \times 1\,654$$

$$\text{Ahorro total} = 131\,314,72 \text{ nuevos soles}$$

Con ello, es posible afirmar que si todo el sótano del proyecto Villanova Etapa 3, el cual requiere 1 654 m3 de concreto vaciado, se hubiera ejecutado con el caso 4, se habría conseguido un ahorro de 131 314,72 nuevos soles con respecto al costo total del caso 1.

Durante el análisis de los casos de mejora se mencionó que en el mercado peruano una retroexcavadora marca JCB modelo 3C tiene un precio de 254 265 nuevos soles aproximadamente por lo que con el ahorro obtenido en solo un sótano se podría pagar el 50% de este equipo que tiene una vida útil de 10 años y suma un activo a la empresa. Es decir, vaciando solo dos sótanos en el proyecto, que cuenta con cinco sótanos de este modelo, se podría pagar al 100% la retroexcavadora adicional que requieren estas propuestas de mejora como son el caso 2, 3 y 4.



Conclusiones

- El resultado del trabajo de tesis demuestra que con una planta de concreto se puede abastecer al proyecto de vivienda económica masiva (viviendas sociales) analizando las mejoras en la productividad con conceptos de la filosofía *Lean Construction*.
- Los resultados del objetivo específico 1 demuestran que empleando una planta de concreto centralizada se obtiene un ahorro del 30% que representa un ahorro unitario de 79,39 nuevos soles por metro cúbico de concreto con respecto al uso del concreto premezclado más bombeo. Con ello, se puede determinar que en un sótano del proyecto Villanova se obtendría un ahorro total de 131 314,72 nuevos soles.
- Los resultados del objetivo específico 2 evidencian que, aplicando los conceptos de la filosofía *Lean Construction* y empleando las herramientas mencionadas en la metodología, se puede medir y analizar las actividades rutinarias y repetitivas para poder mejorarlas y lograr la eficiencia en la productividad.
- Se concluye que al implementar una planta de concreto se debe tomar en cuenta la capacidad de producción que se requiere en el proyecto para satisfacer los volúmenes de producción lo más exactos posibles.
- Es importante incluir los volúmenes a vaciar de todos los frentes del proyecto y realizar los cronogramas macro para evaluar si pueden vaciar diversos frentes en simultáneo.
- Para poder aplicar estas propuestas y mejoras se debe tener el respaldo total de los altos mandos como la gerencia de la empresa constructora debido a que implican un costo de inversión, tanto en tiempo como en materiales y equipos, pero que, de resultar positivas, pueden generar grandes ahorros como se ha evidenciado en este trabajo de tesis.
- Es rentable utilizar una segunda retroexcavadora solo si esta es comprada pues, de ser alquilada, el precio de este equipo en el análisis de costo unitario se dispararía generando un gran incremento. El precio de 24,41 nuevos soles, que fue obtenido a partir de una compra de equipo, si es comparado al precio del mercado, como alquiler, supera los 100 nuevos soles.
- Los ahorros que genera el caso n°4 superan los 130 000 nuevos soles con referencia al caso n°1. Con dicho ahorro y el costo de una retroexcavadora nueva se puede afirmar que con la ejecución de dos sótanos (dos años) se paga el equipo que tiene una vida útil de 10 años. Además, este equipo que es multifuncional puede realizar diversas actividades

en los proyectos que muchas veces tienden a ser subcontratadas como, por ejemplo, excavaciones localizadas, rellenos con material, acarreo de materiales, entre otros.

- El ahorro en las actividades de cada día repercuten directamente sobre el costo de una vivienda. Pues de optimizar las actividades al máximo se generará un menor costo en su fabricación y por ende un menor costo en su adquisición. Lo cual genera que sea más fácil acceder a una unidad inmobiliaria y volverse más competitivo en el mercado.



Recomendaciones

- Se debe tomar importancia al octavo desperdicio, talento humano, ya que de este se puede obtener nuevas mejoras. Esto se debe a que el personal obrero es el involucrado en la actividad toda la jornada laboral. Se evidencia que, tras la idea de un trabajador, se pudo realizar esta investigación pues es responsabilidad del profesional en la construcción de emplear estas ideas, evaluarlas, mejorarlas e implementarlas.
- Gran parte de las mejoras dependen de convencer al personal obrero de que implementar nuevas alternativas a la actividad es para mejorar tanto la calidad del trabajo como el ahorro de costos en el proyecto y que, de esta manera, si el producto de la empresa es más rentable se podrá tener una continuidad laboral (estabilidad laboral) que es tan apreciada por los trabajadores dependientes.
- Es importante, como en este caso, continuar con el ciclo de mejora continua pues de no ser así, probablemente solo se hubiese llegado hasta el caso n°3 en donde el costo por metro cúbico ya era menor y se habían eliminado los subcontratos. Aun así, el caso n°4 no será el definitivo pues se continúa evaluando cómo transportar mayor cantidad de concreto con una retroexcavadora pues el cucharón es la restricción, ya que solo carga 0,6 m³ de concreto.
- Es importante evaluar la posición de la planta de concreto centralizada en el *layout* del proyecto para que no impacte en la velocidad de vaciado de los sótanos.
- Tomar en cuenta la importancia de la supervisión y asesoría en la preparación y colocación del concreto, ya que solo así se puede asegurar la calidad del concreto para que sea comparable con el concreto premezclado.
- Con la propuesta optimizada se pueden aún reducir los costos en mano de obra y equipos empleando, por ejemplo, mediciones con carta balance, la cual es otra herramienta del *Lean Construction*. De igual manera, se pueden optimizar los costos en materiales en conjunto con una empresa de asesoría en la calidad del concreto.
- Para futuras investigaciones, se propone implementar la metodología desarrollada en el presente trabajo de tesis a la misma actividad solo que en sus proyectos y evidenciar el porcentaje de ahorro que obtienen para finalmente compararlo con el 30% de ahorro obtenido en este proyecto.

Bibliografía

- Alca, E., Maldonado, R., & Reátegui, D. (2015). Propuesta de mejora en la producción de una planta concretera. Lima.
- Alpizar, G. (2017). Aplicación de Lean Construction a través de la metodología Last Planner System a proyectos de vivienda social de FUPROVI. San José.
- Andina. (4 de Setiembre de 2020). Perú liderará crecimiento en la región entre 2020 y 2023, según MEF. Obtenido de Andina: <https://andina.pe/agencia/noticia-peru-liderara-crecimiento-la-region-entre-2020-y-2023-segun-mef-765663.aspx>
- Arteaga, L. (2014). Optimización en la producción de la planta de elementos prefabricados de concreto implementada para el proyecto de saneamiento Pachacutec en Ventanilla - Callao en el año 2013. Huancayo.
- Asociación Argentina del Hormigón. (2008). Concreto premezclado vs Concreto hecho en obra. Buenos Aires, Argentina.
- Asociación de productores de cemento (ASOCEM). (2018). Panorama mundial de la industria del cemento. Lima.
- Banco Central de Reserva del Perú. (2021). Informe económico. Lima.
- BBVA. (2020). Indicadores PBI. Obtenido de BBVA Research: <https://www.bbvarsearch.com/indicadores/>
- Bracamonte, L. (2015). Aplicación de herramientas Lean Construction para optimizar los costos y tiempos en la ampliación del colegio Markham - Lima - 2015. Lima.
- Camara Peruana de la Construcción. (11 de Diciembre de 2019). Sector construcción crecerá 5.4% al cierre del 2019 y se dinamizaría en el 2020. Obtenido de Peru Construye: <https://peruconstruye.net/2019/12/11/capeco-sector-construccion-crecera-5-4-al-cierre-del-2019-y-se-dinamizaria-en-el-2020/>
- Cámara Peruana de la Construcción. (2019). Informe Económico de la Construcción N° 25. Lima.
- Cementos Pacasmayo S.A.A. (20 de Marzo de 2022). Nosotros. Obtenido de Cementos Pacasmayo: <https://www.cementospacasmayo.com.pe>

- Chávez, L. (23 de Mayo de 2019). Sector construcción: Capeco eleva estimado de crecimiento de 4,75% a 6,22% al 2019. Obtenido de El Comercio: <https://elcomercio.pe/economia/peru/sector-construccion-capeco-eleva-estimado-crecimiento-4-75-6-22-2019-noticia-638045-noticia/?ref=ecr>
- Concremax S.A. (03 de agosto de 2022). Historia. Obtenido de Concremax: <https://www.concremax.com.pe/historia/>
- De la Vega, M. (01 de Enero de 2020). Economía peruana logra 21 años de crecimiento continuo al cierre del 2019. Obtenido de Andina: <http://www.andina.pe/agencia/noticia-economia-peruana-logra-21-anos-crecimiento-continuo-al-cierre-del-2019-780027.aspx>
- Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L. (17 de Octubre de 2021). Sobre nosotros. Obtenido de DINO Distribuidora: <https://www.dino.com.pe>
- elEconomista América. (15 de Diciembre de 2017). Sector construcción cerró positivamente el 2017. Obtenido de elEconomista América: <https://www.economistaamerica.pe/economia-eAm-peru/noticias/8814291/12/17/Sector-construccion-cerro-positivamente-el-2017.html>
- Fondo Monetario Internacional. (24 de Julio de 2019). FMI: La economía peruana crecería 3.5% durante 2019. Obtenido de El Peruano: <https://elperuano.pe/noticia-fmi-economia-peruana-creceria-35-durante-2019-81748.aspx>
- Galarza, M. (2011). Desperdicio de materiales en obras de construcción civil: Métodos de medición y control. Lima.
- Garay, L., & Quispe, C. (2016). Estudio del concreto elaborado en los vaciados de techos de vivienda en Lima y evaluación de alternativa de mejora mediante el empleo de aditivo superplastificante (reductor de agua de alto rango). Lima.
- Gestión. (15 de Diciembre de 2018). Gobierno espera crecimiento del sector construcción en torno al 7% en el 2019. Obtenido de Gestión: <https://gestion.pe/economia/mvcs-espera-crecimiento-sector-construccion-torno-7-2019-nndc-252971-noticia/?ref=gesr>

- Gestión. (21 de Octubre de 2019). Sector construcción crecería 4.1% en 2019 y 6.5% en 2020, según la CCL. Obtenido de Gestión: <https://gestion.pe/?signwallHard=1&ref=/economia/construccion-sector-construccion-creceria-41-en-2019-y-65-en-2020-segun-la-ccl-noticia/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). Encuesta Nacional de Programas Presupuestales (2013 - 2021). Lima.
- Jimeno, J. (23 de Agosto de 2013). Ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar): El círculo de Deming de mejora continua. Obtenido de PDCA Home: <http://www.pdcahome.com/5202/ciclo-pdca/>
- Koskela, L., Bolviken, T., & Rooke, J. (2013). Which are the wastes of construction. Fortaleza.
- Lemos, V. (2010). Propuesta de control de calidad para la fabricación del hormigón premezclado en central hormigonera, aplicando el concepto de trazabilidad e integración de proveedores y distribuidores. Valdivia, Chile.
- Meza, S. (2016). La vivienda social en el Perú. Evaluación de las políticas y programas sobre vivienda de interés social. Caso de estudio: Programa “Techo Propio”. Cataluña, Barcelona.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (20 de Diciembre de 2018). En el 2019 Perú liderará crecimiento económico en la región. Obtenido de MEF: <https://www.mef.gob.pe/es/noticias/notas-de-prensa-y-comunicados?id=5848>
- MIXERCORN S.A. (21 de Marzo de 2022). Nuestra Historia. Obtenido de Nosotros: <https://www.mixercon.com/nosotros/>
- Panca, W. (2018). Estudio comparativo del diseño, costo, producción y calidad del concreto dosificado in situ vs. premezclado, para zonas accesibles de las ciudades de Puno y Juliaca. Puno.
- Pasquel, E. (1998). Tópicos de tecnología del concreto en el Perú. Lima.
- Perez, A. (2010). Detección de pérdidas operacionales en la construcción de edificios de oficinas de más de 30.000 m² con plantas libres. Santiago de Chile.

Soibelman, L. (1993). As Perdas De Materiais Na Construção De Edificações: Sua Incidencia E Seu Controle. Porto Alegre.

SUPERMIX S.A. (23 de Julio de 2022). Sobre Supermix. Obtenido de Supermix:
<https://www.supermix.com.pe/nosotros/>

UNACEM PERÚ S.A. (26 de Julio de 2023). Nosotros. Obtenido de GRUPO UNACEM:
<https://unacem.pe/nosotros/grupo-unacem/>

Unión de Concreteras S.A. (02 de Julio de 2022). Historia. Obtenido de UNICON:
<https://www.unicon.com.pe/historia/>

Yura S.A. (17 de Octubre de 2022). Empresa. Obtenido de Cemento Yura:
<https://www.yura.com.pe/empresa/>

