RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTOR	Santiago Fuentes Jaime		
FACULTAD	Ingeniería Civil		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería		
DIRECTOR	Álvaro José Quintero Rojas		
CODIRECTOR (si aplica)			
TÍTULO DE LA TESIS	Determinación de la composición óptima de cuadrillas de trabajo en procesos constructivos de edificaciones mediante herramientas de Lean Construction en empresas constructoras del municipio de Ocaña, Norte de Santander		
TITULO EN INGLES	Determination of the Optimal Composition of Work Crews in Building Construction Processes Using Lean Construction Tools in Construction Companies in the Municipality of Ocaña, Norte de Santander.		
RESUMEN			
La investigación determinó la composición óptima de cuadrillas en actividades constructivas de Ocaña mediante herramientas Lean Construction. Se aplicó un enfoque mixto, con encuestas, observación mediante la técnica de cinco minutos, análisis de TP, TC y TNC, Value Stream Mapping y optimización. Los resultados mostraron TP de 42,8 % en demolición y 44,4 % en excavación, estableciendo cuadrillas óptimas de dos y cinco ayudantes, respectivamente, para mejorar productividad, tiempos y costos.			
RESUMEN EN INGLES			
The research determined the optimal composition of work crews in construction activities in Ocaña using Lean Construction tools. A mixed-method approach was applied, including surveys, observation through the five-minute rating technique, analysis of Productive Work (PW), Contributory Work (CW), and Non-Contributory Work (NCW), Value Stream Mapping, and optimization. Results showed PW rates of 42.8% in slab demolition and 44.4% in excavation, establishing optimal crews of two and five assistants, respectively, to improve productivity, time, and costs.			
PALABRAS CLAVES	Lean Construction; productividad laboral; cuadrillas de trabajo.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Lean Construction; labor productivity; work crews.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 127	PLANOS:0	ILUSTRACIONES:0	CD-ROM:

Determinación de la composición óptima de cuadrillas de trabajo en procesos constructivos de edificaciones mediante herramientas de Lean Construction en empresas constructoras del municipio de Ocaña, Norte de Santander

Santiago Fuentes Jaime

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

Msc. Álvaro José Quintero Rojas

2026

Índice

Capítulo 1. Determinación de la composición óptima de cuadrillas de trabajo en procesos constructivos de edificaciones mediante herramientas de Lean Construction en empresas constructoras del municipio de Ocaña, Norte de Santander 10

1.1 Planteamiento del problema 10

1.2 Formulación del problema 12

1.3 Objetivos 12

1.3.1 Objetivo general 12

1.3.2 Objetivos específicos 12

1.4 Justificación 13

1.5 Delimitaciones 15

1.5.1 Delimitación Operativa 15

1.5.2 Delimitación Conceptual 16

1.5.3 Delimitación Geográfica 16

1.5.4 Delimitación Temporal 16

Capítulo 2. Marco referencial 17

2.1 Marco histórico 17

2.2 Marco contextual 18

2.3 Marco conceptual 19

2.4 Marco teórico 21

2.4.1 Diagrama de balance de cuadrilla 22

2.4.2 Programación lineal aplicada a la optimización de cuadrillas..... 23

2.5 Marco legal..... 25

Capítulo 3. Diseño metodológico 27

3.1 Tipo y enfoque de investigación..... 27

3.2 Marco metodológico 27

3.3 Población, muestra y unidad de análisis..... 29

3.3.1 Población y muestra - Componente cuantitativo (estudio de caso) 29

3.3.2 Unidad de análisis 30

3.3.3 Población y muestra - Componente cualitativo (encuesta a la industria)..... 30

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... 31

3.4.1 Observación directa - Técnica de muestreo de trabajo 31

3.4.2 Mapa de Flujo de Valor – VSM..... 33

3.4.3 Encuesta estructurada a profesionales del sector 34

3.4.4 Registro de costos de mano de obra..... 35

3.5 Validación de instrumentos..... 35

3.5.1 Prueba piloto 35

3.5.2 Juicio de expertos..... 36

3.6 Variables de estudio 36

3.7 Procesamiento y análisis de la información 37

3.8 Consideraciones éticas 37

Capítulo 4. Resultados 39

4.1 Diagnosticar los métodos actuales de conformación de las cuadrillas de trabajo en las

empresas constructoras de Ocaña a través de encuestas estructuradas a profesionales del sector, identificando las prácticas predominantes y las deficiencias en la asignación de personal 39
4.1.1 Revisión bibliográfica 39
Factibilidad económico-constructiva del carrizo, el mimbre y el polvo de mármol para elaborar cadenas en muros 43
4.1.2 Estudios seleccionados 44
4.1.3 Encuesta 45
4.2 Evaluar la productividad de la mano de obra en el proceso constructivo objeto de estudio mediante la aplicación de herramientas de Lean Construction, obteniendo indicadores de Trabajo Productivo (TP), Contributivo (TC) y No Contributivo (TNC) y el costo-hora por actividad 61
4.2.1 Selección del proyecto y descripción del proceso 62
4.2.2 Muestreo de trabajo y levantamiento del proceso 67
4.2.3 Análisis de Pareto y VSM actual 76
4.3 Establecer la composición óptima de cuadrilla para el proceso constructivo objeto de estudio, a partir de los indicadores de productividad y costo obtenidos en la fase evaluativa, como referencia técnica para la asignación eficiente del personal en las empresas constructoras de Ocaña, Norte de Santander. 80
4.3.1 Consolidación de los parámetros del modelo 81
4.3.2 VSM futuro y acciones de mejora 83
4.3.3 VSM futuro de la demolición de losa (e -30 cm) 84
4.3.4 VSM futuro de la excavación manual de zapatas 85
4.3.5 Horario optimizado de trabajo 87
4.3.6 Costo-hora y costo por actividad 88

4.3.7 Costo actual de la demolición 89

4.3.8 Costo actual corregido de la excavación manual 89

4.3.9 Formulación del modelo matemático 91

4.3.10 Optimización de la cuadrilla de excavación manual 94

4.3.11 Distribución de funciones de la cuadrilla óptima 98

4.3.12 Evaluación económica de la excavación manual 99

4.3.13 Resultado económico consolidado 100

4.3.14 Comparación entre contratación directa y subcontrato 101

4.3.15 Composición óptima final 102

Capítulo 5. Conclusiones 105

Capítulo 6. Recomendaciones 107

Referencias 109

Apéndices 117

Lista de Tablas

Tabla 1 Normativa aplicable al desarrollo de la investigación en el sector de la construcción 25

Tabla 2 Categorías de clasificación del tiempo de trabajo en obra 31

Tabla 3 Variables de estudio de la investigación 36

Tabla 4 Estudios de Google Scholar 41

Tabla 5 Estudios Dialnet 42

Tabla 6 Estudios Redalyc 43

Tabla 7 Estudios seleccionados 44

Tabla 8 Información general del encuestado 48

Tabla 9 Factores de gestión que influyen en la conformación de cuadrillas de trabajo 51

Tabla 10 Factores motivacionales que afectan la productividad de las cuadrillas de trabajo..... 52

Tabla 11 Factores humanos asociados a la productividad de las cuadrillas de trabajo 54

Tabla 12 Factores técnicos que inciden en el desempeño de las cuadrillas de trabajo 55

Tabla 13 Factores de seguridad y salud en el trabajo que afectan la productividad de las cuadrillas 56

Tabla 14 Factores externos que influyen en la productividad de las cuadrillas de trabajo..... 57

Tabla 15 Resultados del módulo complementario de la encuesta sobre conformación y productividad de cuadrillas 60

Tabla 16 Características generales del proyecto seleccionado 63

Tabla 17 Caracterización de la Cuadrilla 1 — Demolición de losa (e -30 cm) de concreto 64

Tabla 18 Caracterización de la Cuadrilla 2 — Excavación manual de zapatas 64

Tabla 19 Cantidades de obra asociadas al proceso observado 65

Tabla 20 Herramientas, equipos y función dentro del proceso 66

Tabla 21 Distancias de transporte y desplazamiento consideradas 67

Tabla 22 Jornadas de observación realizadas 68

Tabla 23 Clasificación de actividades TP, TC y TNC 69

Tabla 24 Indicadores de rendimiento y TCR 73

Tabla 25 Pareto de categorías — Demolición de losa (e -30 cm) 76

Tabla 26 Pareto de categorías — Excavación manual de zapatas 77

Tabla 27 VSM actual — Demolición de losa (e -30 cm) 78

Tabla 28 VSM actual — Excavación manual de zapatas 79

Tabla 29 Comparación de indicadores actuales frente a referencia Lean 80

Tabla 30 Parámetros técnicos y económicos consolidados 82

Tabla 31 Estallidos Kaizen propuestos para el VSM futuro 83

Tabla 32 VSM futuro de la demolición de losa (e -30 cm) 84

Tabla 33 VSM futuro de la excavación manual de zapatas 86

Tabla 34 Horario optimizado para demolición y excavación de zapatas 87

Tabla 35 Costo-hora de las cuadrillas actuales 89

Tabla 36 Distribución del costo por categoría en demolición 89

Tabla 37 Distribución corregida del costo por categoría en excavación 90

Tabla 38 Costo unitario actual por actividad 90

Tabla 39 Resultados de la optimización de la demolición 93

Tabla 40 Configuración del modelo en Microsoft Excel Solver 96

Tabla 41 Escenarios de composición para excavación manual 97

Tabla 42 Distribución de funciones de la cuadrilla óptima de excavación..... 98

Tabla 43 Comparación económica de la excavación manual 100

Tabla 44 Comparación consolidada entre el estado actual y el estado optimizado 100

Tabla 45 Puntos de equilibrio para la modalidad de subcontrato 101

Tabla 46 Composición óptima de las cuadrillas 103

Lista de Figuras

Figura 1 Resultados del muestreo de trabajo — Demolición de losa (e -30 cm) 70

Figura 2 Resultados del muestreo de trabajo — Excavación manual de zapatas 71

Figura 3 Secuencia BPMN 2.0 del proceso de cimentación 75

Figura 4 Composición óptima de cuadrilla 104

Capítulo 1.

Determinación de la composición óptima de cuadrillas de trabajo en procesos constructivos de edificaciones mediante herramientas de Lean Construction en empresas constructoras del municipio de Ocaña, Norte de Santander

1.1 Planteamiento del problema

La construcción es una industria con bajos rendimientos laborales en comparación con otras industrias. Es un problema más grave en los países de América Latina. Ghio (2001) señaló en estudios sobre Chile que el promedio de Trabajo Productivo (TP) apenas llegaba al 28%, mientras que más del 70% del tiempo de los trabajadores era para el Trabajo Contributivo (TC) y el Trabajo No Contributivo (TNC). En Colombia, Botero (2006) encontró resultados similares, con niveles de PT del 32% al 37% en los proyectos de vivienda. Esto muestra que solo una pequeña parte de la jornada laboral se dedica realmente a crear valor.

Dentro del contexto latinoamericano, autores como Fernández et al., (2023) analizan los factores que influyen en el desempeño de los trabajadores en los proyectos de construcción de Bolivia, donde se comprobó que la ausencia de métodos claros para la asignación de tareas es un factor clave que afecta la productividad de las obras de la región, situación muy similar a la del municipio de Ocaña. Garcés y Peña (2023) confirman que, en su revisión sobre Lean Construction para la gestión de proyectos publicada en la Revista Ingeniería de Construcción, el uso de esta filosofía sigue siendo poco común e irregular en América Latina. Esto la necesidad de estudios prácticos como el propuesto en este proyecto de investigación.

Una de las variables que afecta a estos indicadores es el modo como se conforman los equipos de trabajo. Según Serpell (2002) una mala asignación de personal para actividades de

construcción genera problemas en las operaciones que se trasladan a mayores tiempos de espera y traslados sin productividad. Este problema se agrava cuando los criterios para la formación de las cuadrillas no están basados en principios técnicos. Según Ardila y Mejia (2021), el 60% de los trabajadores en la obra usan la experiencia como criterio principal para formar grupos de trabajo, y el 43% no tiene ninguna herramienta clara para hacerlo. Esto demuestra que es una práctica mayormente empírica y desorganizada.

Este problema se ha registrado directamente en Ocaña, Norte de Santander. En la región, Angarita et al., (2018) aplicaron la técnica de observación de cinco minutos en actividades de construcción de vivienda y se encontró que los niveles de Trabajo Productivo (TP) eran inferiores a las medias nacionales reportadas por Botero (2006). También observaron que la gestión del recurso humano en las obras no cuenta con métodos claros de conformación de los equipos de trabajo. Esto baja la competitividad del sector, impactando directamente en los costos y plazos de los proyectos de construcción en la región.

Dadas estas condiciones, la filosofía Lean Construction, creada por Koskela (1992) a partir de los principios del sistema de producción de Toyota, sugiere quitar las actividades que no suman valor al proceso de construcción. Esto se logra mediante el uso regular de herramientas de análisis y mejora. Morales y Galeas (2011), demostraron que usar herramientas Lean en proyectos de construcción ayuda a reducir mucho los tiempos improductivos y a aumentar la eficiencia de los equipos de trabajo. En este contexto, el Mapa de Flujo de Valor es una herramienta de diagnóstico que ayuda a ver cómo están los procesos de construcción, detectar las áreas donde se desperdicia y planear un futuro mejorado. Esto facilita la toma de decisiones técnicas sobre cómo se forman y se asignan los equipos de trabajo. (Caballero et al., 2018).

1.2 Formulación del problema

¿Cuál es la composición óptima de las cuadrillas de trabajo para maximizar la productividad de la mano de obra en procesos constructivos de edificaciones en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, a partir de la aplicación de herramientas de Lean Construction?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la conformación óptima de cuadrillas de trabajo en el proceso constructivo objeto de estudio en edificaciones, mediante la aplicación de herramientas de Lean Construction como referencia técnica para la gestión eficiente del personal en empresas constructoras de Ocaña, Norte de Santander.

1.3.2 Objetivos específicos

Diagnosticar los métodos actuales de conformación de las cuadrillas de trabajo en las empresas constructoras de Ocaña a través de encuestas estructuradas a profesionales del sector, identificando las prácticas predominantes y las deficiencias en la asignación de personal.

Evaluar la productividad de la mano de obra en el proceso constructivo objeto de estudio mediante la aplicación de herramientas de Lean Construction, obteniendo indicadores de Trabajo Productivo (TP), Contributivo (TC) y No Contributivo (TNC) y el costo-hora por actividad.

Establecer la composición óptima de cuadrilla para el proceso constructivo objeto de estudio, a partir de los indicadores de productividad y costo obtenidos en la fase evaluativa, como referencia técnica para la asignación eficiente del personal en las empresas constructoras de

Ocaña, Norte de Santander.

1.4 Justificación

Dado que la mano de obra representa entre el 30% y el 50% del costo directo total de un proyecto de construcción en Colombia, contar con cuadrillas dimensionadas técnicamente constituye una palanca de control de costos de alto impacto para las empresas del sector (Ardila y Mejía, 2021), lo que deja en evidencia la necesidad de establecer una conformación óptima del personal en obra, lo que permite invertir recursos de forma adecuada y además, actualizar los análisis de precios unitarios (APU) que se utilizan en la zona de Ocaña, los cuales en muchas ocasiones se elaboran a partir de datos nacionales que no reflejan las condiciones locales de ejecución. Botero y Álvarez (2003) afirman que los desequilibrios en la asignación de personal generan costos adicionales evitables que afectan directamente la rentabilidad de los proyectos, por lo que una herramienta de planificación basada en evidencia local facilitará a las constructoras de Ocaña elaborar presupuestos más acertados, mejorar su gestión de contratos y afianzar su competitividad en el mercado regional.

Por tanto, la presente investigación busca determinar la conformación óptima y replicable de cuadrillas de trabajo para la ejecución de proyectos de construcción del municipio de Ocaña, basada en criterios cuantitativos de productividad, en lugar de criterios empíricos. La aplicación del Mapa de Flujo de Valor como herramienta de diagnóstico permitirá identificar las actividades que generan valor dentro de los procesos constructivos y cuáles solo implican un gasto inoficioso de recursos, proporcionando bases técnicas objetivas para establecer una distribución adecuada del personal de trabajo. Arboleda (2014), señala que los consumos y rendimientos de mano de obra deben ser determinados a partir de observaciones sistemáticas que tomen en cuenta las

condiciones reales de cada actividad, siendo esta, la clase de información que se propone generar en la presente investigación para el contexto local, con el fin de sistematizar en tablas de referencia la conformación de cuadrillas para obras de características similares.

Este trabajo deja beneficios sociales tanto a las empresas como a los trabajadores del sector de la construcción en Ocaña, siendo una herramienta que permite una planificación más ordenada y equilibrada de las cuadrillas, disminuyendo errores en la ejecución del proyecto y mejorando las condiciones laborales. Porras et al. (2014), explican que el objetivo de la filosofía Lean Construction no es suprimir puestos de trabajo, sino quitar las actividades que no agregan valor; por tanto, la optimización de cuadrillas no implica reducción de personal sino una redistribución equitativa de las tareas, ya que una gestión más eficiente del recurso humano en obra influye de manera positiva en el bienestar, estabilidad y dignidad de los trabajadores de este sector.".

Además, de acuerdo con Caballero et al. (2018), la mayoría de los trabajos de investigación sobre Lean Construction realizados en Colombia se han concentrado en las principales ciudades, dejando un vacío de conocimiento aplicado en municipios, lo que muestra la necesidad de esta investigación que contribuye a cerrar la brecha y deja un precedente replicable para otras obras de similares características en el departamento de la región. De igual forma, fortalece las competencias investigativas en gestión de la construcción, dentro del programa de ingeniería civil de la UFPSO, área de creciente relevancia en la formación profesional del ingeniero (Angarita, et al., 2018).

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación Operativa

El proyecto se desarrollará en tres etapas: Fase 1. Se revisará la literatura técnica y académica en torno a la productividad en construcción, gestión de equipos y herramientas de Lean Construction. Se elegirá una (1) obra de construcción en marcha en la zona urbana de Ocaña, con los siguientes criterios: (i) que esté en una etapa de construcción activa con mucho trabajo manual, (ii) el tipo de edificación y (iii) la disposición para participar en el estudio.

Fase 2. Se harán recopilaciones y modelados de los procesos de construcción elegidos, registrando tareas, labores y tiempos de cada integrante del equipo. Los instrumentos de medición serán: (i) la técnica de observación cada 5 minutos para clasificación de las actividades en TP, TC y TNC; y (ii) formularios estandarizados para registro en campo. Se empleará el Mapa de Flujo de Valor para ubicar y cuantificar las pérdidas en el trabajo. Además, se elaborarán diagramas de balance de cuadrilla para observar cómo se distribuyen los tiempos de cada trabajador. Esto facilitará obtener los indicadores de productividad y de costo por hora de cada actividad.

Fase 3. Se analizarán distintas configuraciones de cuadrilla para el proceso de construcción que se está analizando, utilizando como indicadores la productividad y el costo de la fase anterior. Se determinará la relación existente entre el número de miembros, su experiencia, el costo por hora de la cuadrilla y la producción lograda. Este análisis servirá de ayuda para establecer la mejor composición de cuadrilla, como guía técnica para la asignación eficaz del personal en las empresas constructoras de Ocaña.

Es importante señalar que los resultados de este estudio se refieren al contexto específico

del municipio de Ocaña y al proceso de construcción elegido para el análisis. La forma de trabajar que desarrollamos se puede volver a usar, o sea, que otros investigadores o profesionales del tema, pueden aplicarla en distintas construcciones o en otros lugares, respetando los mismos pasos y herramientas que se mencionaron en este trabajo.

1.5.2 Delimitación Conceptual

Para el desarrollo de la investigación se tendrán en cuenta conceptos como edificaciones, tiempos de trabajo, productividad, mano de obra, cuadrillas de trabajo, flujo de trabajo, Lean Construction.

1.5.3 Delimitación Geográfica

El proyecto se llevará a cabo en la zona urbana de Ocaña, Norte de Santander, Colombia, en edificaciones que se encuentren en ejecución y sean desarrolladas por empresas constructoras. Los trabajos en el área rural del municipio, así como los proyectos que tengan que ver con la infraestructura de vías o de servicios públicos, no se tendrán en cuenta.

1.5.4 Delimitación Temporal

El proyecto se llevará a cabo en un periodo de cuatro (4) meses; en este periodo de tiempo se realizarán todas las actividades para alcanzar los objetivos de la investigación.

Capítulo 2.

Marco referencial

2.1 Marco histórico

Remontándose al siglo XX, cuando la industria manufacturera empezó a crear modelos de gestión con el fin de eliminar el derroche y optimizar el valor, se busca la eficacia en los procesos productivos. El Sistema de Producción Toyota (TPS), creado por Taiichi Ohno y Shigeo Shingo en Japón durante las décadas del 40 y el 50 del siglo XX, estableció los fundamentos de lo que más adelante sería llamado producción ajustada o Lean Production. Este sistema transformó la idea de los procesos industriales al implementar ideas como la producción jalada, el flujo continuo y la mejora constante (Kaizen), dirigiendo todos los esfuerzos a proporcionar valor al cliente por medio de la eliminación sistemática de las tareas que no lo producen.

El investigador finlandés Lauri Koskela, en 1992, sugirió que los proyectos de construcción podían ser administrados bajo la misma lógica del flujo de producción que definía a la industria manufacturera; así, formalizó el traslado de estos principios al ámbito de la construcción. Koskela observó que el modelo de conversión dominaba la construcción convencional, en el cual los insumos se convierten en productos sin tener en cuenta el flujo de información, materiales y recursos humanos entre las distintas actividades. Fundamentándose en esa crítica, presentó once principios para optimizar los flujos productivos en la construcción e instauró formalmente la filosofía Lean Construction.

El Grupo Internacional de Lean Construction (IGLC) nació en los años noventa como un foro internacional para la investigación y difusión de estos principios. Chile y Perú fueron los

primeros países de América Latina que realizaron estudios sistemáticos sobre la productividad del trabajo en la construcción, a fines de la década de los noventa y principios de los 2000. En Colombia, se empezaron a ver en el año 2000 en la literatura académica trabajos de investigación acerca de Lean Construction, estudios que se realizaron en Bucaramanga, Bogotá y Medellín principalmente.

2.2 Marco contextual

El sector de la construcción ha experimentado una importante contracción, puesto que el DANE (2024) reportó que el PIB de la construcción se contrajo a una tasa anual del 4,2% durante 2023, el peor desempeño entre los doce sectores de la economía nacional, explicado principalmente por el enfriamiento del mercado inmobiliario, la inflación en costos de materiales y las altas tasas de interés, lo que deja en evidencia una situación crítica en la gestión eficiente de los recursos, especialmente de la mano de obra, que representa entre el 30% y el 50% del costo directo de un proyecto de construcción en el contexto colombiano (Ardila y Mejía, 2021).

Lo anterior deja en evidencia que en el país existe una gran problemática puesto que la construcción es un sector estratégico de la economía colombiana ya que de acuerdo con el DANE (2024), durante el primer semestre de 2024 aportó alrededor del 4,1 % del PIB nacional, y para agosto de 2023 generó unos 1,61 millones de empleos directos, lo que equivale al 7 % de la población ocupada del país, por lo que se constituye como uno de los principales dinamizadores del mercado laboral colombiano, con especial relevancia en ciudades intermedias y municipios en crecimiento.

En el departamento de Norte de Santander, la construcción constituye uno de los motores del desarrollo económico regional y en el municipio de Ocaña, al ser la segunda ciudad más

importante del departamento, concentra una parte importante del avance y progreso de la provincia brindando proyectos de vivienda, equipamientos institucionales y edificaciones comerciales en permanente desarrollo. Sin embargo, este sector en el municipio se caracteriza por una gestión del recurso humano mayoritariamente empírica, con procesos de conformación de cuadrillas basados en la experiencia y carentes de metodologías estructuradas. Angarita, et al. (2018) registraron que las cifras de productividad laboral en los proyectos de construcción del municipio están por debajo de los promedios nacionales, lo que hace que los proyectos locales soporten pérdidas productivas evitables, que afectan la rentabilidad de las empresas y los plazos de entrega de las obras.

El desarrollo urbanístico sostenido que vive Ocaña, motivado por la demanda habitacional y la inversión pública en infraestructura educativa y sanitaria, convierte a este municipio en un marco adecuado para la aplicación y contrastación de metodologías de optimización de la productividad en construcción. Lo que demuestra la necesidad de obtener datos necesarios sobre la productividad de la mano de obra del municipio, lo cual permitirá dar solución a la brecha de información técnica local existente y a fundamentar decisiones que mejoren la eficiencia en la gestión de proyectos de edificación.

2.3 Marco conceptual

A continuación, se definen los términos más relevantes de la investigación, los cuales son fundamentales para comprender la base conceptual que sustenta el estudio de la optimización de cuadrillas de trabajo desde el enfoque Lean Construction.

Lean Construction. “Es una filosofía y práctica que busca mejorar la eficiencia y reducir los desperdicios en proyectos de construcción, mediante la mejora continua de los flujos de

trabajo y la eliminación de actividades sin valor, maximizando el valor entregado al cliente." (Blandín, 2023).

Cuadrilla de trabajo. Se definen como "unidades de trabajo continuo responsables de la producción de bienes y provisión de servicios. El recurso de la mano de obra agrupa individuos de producción (trabajadores) en configuraciones usuales de equipos o cuadrillas de trabajo, compuestas por oficiales y ayudantes." (Ardila & Mejía, 2021).

Productividad laboral en construcción. "La productividad laboral en construcción puede interpretarse como la relación existente entre los resultados obtenidos de la producción y los recursos utilizados para tal fin." (Muñoz et al., 2023).

Trabajo Productivo (TP), Contributivo (TC) y No Contributivo (TNC). El tiempo de trabajo en la obra se divide en tres categorías: el Trabajo Productivo (TP) incluye las tareas que añaden valor directo al producto, como vaciar concreto o poner ladrillos; el Trabajo Contributivo (TC) abarca las actividades de apoyo que permiten el trabajo productivo, por ejemplo, transportar materiales; y el Trabajo No Contributivo (TNC) engloba todas aquellas actividades que no aportan valor ni son imprescindibles, tales como los tiempos de espera o los desplazamientos innecesarios. (Muñoz et al., 2023).

Mapa de Flujo de Valor (VSM). "Es una representación gráfica del flujo de materiales y de información a lo largo de la cadena de valor de los procesos constructivos, permite identificar actividades que no agregan valor, tiempos de espera y cuellos de botella en el trabajo." (Montoya et al., 2019).

Desperdicio en construcción. "Es cualquier actividad que consume recursos sin generar valor al cliente o al proceso constructivo. En construcción, los desperdicios más habituales son sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y

defectos” (Blandín, 2023).

Optimización de cuadrillas. Ardila (2022) plantea un método para establecer la composición ideal de la cuadrilla de trabajo a través de un modelo lineal de restricciones. En este modelo, las variables que se deciden son el número de ayudantes y oficiales, que tiene como objetivo reducir el tiempo requerido para realizar la tarea constructiva, esto garantiza que la productividad cumpla o supere la requerida por el proyecto.

2.4 Marco teórico

La aplicación de la filosofía Lean Construction a la optimización de cuadrillas de trabajo dispone de un sólido cuerpo de investigación, en el que se integran fundamentos teóricos procedentes de ingeniería con herramientas de diagnóstico y modelos para la mejora en el sector de la construcción, como se expone a continuación.

Blandín (2023) revisa la metodología Lean Construction a partir de publicaciones desde el año 2019 hasta el 2023 y menciona que el pensamiento Lean viene del Sistema de Producción de Toyota (TPS), que se creó en Japón en la segunda mitad del siglo XX. Según el autor, todos los principios del TPS, trabajo continuo, reducción de desperdicios, decisiones basadas en el rendimiento y mejora continua, forman la base de todas las metodologías Lean de la construcción. Asimismo, determina que el matrimonio de Lean Construction con otras herramientas de gestión de proyectos se ha mostrado como adaptable y fuerte en diferentes regiones, desde Latinoamérica hasta Asia, mejorando tiempos, costos y gestión operativa.

Koskela (1992), por otra parte, introdujo un aporte formal al empleo de Lean en la construcción, al proponer el modelo de Transformación-Flujo-Valor (TFV) como sustento teórico para el manejo de procesos en la construcción. En este modelo se entiende que la

producción en construcción debe ser vista desde tres ángulos simultáneos: la transformación de materiales e información, el flujo ininterrumpido de los mismos a través del proceso y la creación de valor para el cliente. Con este enfoque, Muñoz et al., (2023) definen a la Construcción Lean como un sistema de nuevos métodos para gestionar los procesos, mejorando los resultados del trabajo. Este sistema tiene como objetivo reducir el tiempo y el costo mejorando continuamente la eficiencia. También indican que herramientas como el Last Planner System son importantes para poder planificar y controlar proyectos de construcción siguiendo esta filosofía.

Montoya et al. (2019) en su estudio sobre el uso del Value Stream Mapping en el proceso de acero en la construcción confirmaron que esta herramienta puede ser útil para representar el flujo de materiales e información en la cadena de valor de un proceso de construcción. En proyectos de viviendas los autores utilizaron el VSM para el proceso de corte, preparación y colocación de acero. Mediante el análisis de Pareto, detectaron que las principales causas de ineficiencia eran la falta de planificación y la ausencia de métodos de trabajo estandarizados. También diseñaron un plan para mejorar la cadena de valor, con objetivos claros para reducir el inventario y los tiempos de operación. Esto muestra que el VSM es una herramienta útil para diagnosticar el estado actual de los procesos de construcción y orientar su mejora.

2.4.1 Diagrama de balance de cuadrilla

El diagrama de balance de cuadrilla o carta de balance es un instrumento analítico visual que permite la representación gráfica del tiempo de trabajo de cada uno de los miembros de una cuadrilla a lo largo de un ciclo productivo, dividiendo las actividades en tres tipos: TP: Productivas.- TC: Contributivas.- TNC: No Contributivas. Según Serpell Bley (2002), es una

herramienta de diagnóstico que permite determinar desequilibrios en la carga de trabajo entre los miembros del equipo de trabajo, identificar períodos de espera y proponer redistribuciones de responsabilidades que permitan mejorar el flujo productivo. El objetivo de su trabajo no es presionar al trabajador a producir más, sino encontrar oportunidades para reorganizar el proceso de una forma más eficiente.

Ardila (2022) sugirió un método sistemático para determinar la cuadrilla de trabajo ideal en los procesos de construcción de mampostería, desde la perspectiva del Lean Construction, que se implementó en el contexto colombiano. Para establecer la composición de la cuadrilla (la cantidad de oficiales y ayudantes) que reduce al mínimo el tiempo para llevar a cabo la actividad constructiva, teniendo en cuenta las limitaciones de productividad mínima exigidas, se emplearon métodos de observación directa en campo y modelado matemático del proceso. El modelamiento matemático se llevó a cabo mediante programación lineal con restricciones. Los resultados mostraron que la forma en que se organizan las cuadrillas en el sector causa costos extras y baja productividad que se podrían evitar. También se sugirió un método que se puede usar en distintos tipos de actividades de construcción.

2.4.2 Programación lineal aplicada a la optimización de cuadrillas

La programación lineal es una técnica matemática de optimización que permite encontrar la mejor solución posible a un problema en el que la función objetivo y las restricciones están expresadas mediante relaciones lineales entre variables de decisión. Esta técnica ha demostrado ser especialmente útil para la asignación eficaz de recursos humanos en el ámbito de la ingeniería de construcción, pues posibilita examinar al mismo tiempo varias configuraciones de

cuadrilla bajo limitaciones de costos, plazo y productividad (Serpell, 2002).

El modelo general de programación lineal para optimizar cuadrillas propone la minimización del costo de mano de obra o el tiempo que toma realizar la actividad constructiva como función objetivo. Esto está condicionado a restricciones que aseguran que se cumpla con la productividad mínima exigida por el proyecto, así como un balance entre las cargas de los miembros. Las variables de decisión reflejan la cantidad de ayudantes y oficiales que integran la cuadrilla.

En Colombia, Ardila (2022) utilizó esta metodología en procesos de mampostería. Se comprobó que la construcción de un modelo de programación lineal con restricciones, resuelto mediante herramientas informáticas como Microsoft Excel, permite establecer de forma sistemática y reproducible la composición ideal del equipo, por encima de los criterios empíricos que imperan en el sector. Siguiendo la misma lógica metodológica que planteó Cubillos (2022) y adaptándola al entorno de construcción del municipio de Ocaña, se creará este modelo en la investigación con los datos reales adquiridos durante la fase 2.

Los estudios previos, muestran un buen ambiente para el desarrollo de este proyecto, ya que existe una fuerte base teórica y metodológica sobre la optimización de equipos de trabajo desde la perspectiva de Lean Construction. Sin embargo, los estudios revisados se centran en escenarios específicos como el caso de Perú y Colombia, sin que se hayan hallado estudios orientados al diagnóstico y optimización de las cuadrillas en el municipio de Ocaña, Norte de Santander; por tanto, la relevancia del presente estudio queda plenamente justificada.

2.5 Marco legal

Las reglas en Colombia hoy son muy claras respecto a lo que deben hacer las constructoras en materia de seguridad estructural, contratación de personal y manejo de los riesgos laborales. Pero es que el uso de métodos para elevar la productividad como el Lean Construction aún no tiene un sustento legal específico en Colombia. Por lo tanto, su implementación se sustenta en los principios generales de las leyes vigentes y en normas técnicas internacionales.

En este sentido, el estudio de las leyes permite observar cómo conectar los requisitos existentes con los postulados de Lean Construction. Esto facilita comprender las reglas que rodean la investigación y fortalece la relevancia de las propuestas de mejora en Ocaña, Norte de Santander.

Por tal motivo, en la Tabla 1, se presenta un análisis de las leyes existentes en el país, sobre la regulación del trabajo en la construcción. Esto es de gran importancia para llevar a cabo el proyecto de investigación y así mejorar las prácticas en el área de construcción junto con la filosofía de Lean Construction.

Tabla 1

Normativa aplicable al desarrollo de la investigación en el sector de la construcción

Normativa	Alcance y enfoque
Ley 400 de 1997 y NSR-10 (Decreto 926 de 2010)	Establece los criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones. El NSR-10 regula los requisitos técnicos de obligatorio cumplimiento nacional para todas las edificaciones, incluyendo las que son objeto de este estudio.
Ley 1796 de 2016 (Ley de Vivienda Segura)	Fortalece la responsabilidad de diseñadores, constructores e interventores, estableciendo lineamientos para la supervisión técnica independiente y la calidad en la ejecución de edificaciones. Aplica directamente a las empresas constructoras participantes en este estudio.

Normativa	Alcance y enfoque
Código Sustantivo del Trabajo (CST)	Regula las relaciones laborales en Colombia: jornada ordinaria, modalidades de contratación, prestaciones sociales y condiciones mínimas de trabajo. Es pertinente dado que el objeto de estudio son cuadrillas de trabajadores y sus condiciones de asignación y remuneración en obra.
Decreto 1072 de 2015 y Resolución 0312 de 2019 (Ministerio del Trabajo)	El Decreto 1072 compila la normativa del sector trabajo e impone obligaciones en identificación de peligros, valoración de riesgos y medidas de control en construcción. La Resolución 0312 define los estándares mínimos del SG-SST, clasificando el sector construcción en riesgo IV y V, lo que incide directamente en la planificación de las actividades laborales de las cuadrillas observadas.
Resolución 1409 de 2012 (Ministerio del Trabajo)	Establece el reglamento de seguridad para trabajo en alturas. Todo trabajador que realice actividades a más de 1,50 m sobre el nivel del piso debe estar certificado, condición que afecta la composición y calificación de las cuadrillas en edificaciones.

Nota. Elaboración propia con base en la normativa nacional vigente (Congreso de la República de Colombia, 1997, 2016; Presidencia de la República de Colombia, 2010, 2015; Ministerio del Trabajo, 2012, 2019).

Capítulo 3.

Diseño metodológico

3.1 Tipo y enfoque de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo descriptivo con alcance propositivo. Es descriptiva, ya que caracteriza y mide el estado actual de la productividad y conformación de cuadrillas de trabajo en procesos constructivos de edificaciones en el municipio de Ocaña, Norte de Santander. Es propositiva en tanto que a partir de los hallazgos obtenidos diseña una metodología replicable para determinar la composición óptima de la cuadrilla en dichos procesos.

La orientación es mixta. La parte cuantitativa incluye la medición sistemática de los tiempos de Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributivo (TC) y Trabajo No Contributivo (TNC) por observación directa en campo, el análisis estadístico de las observaciones de muestreo de trabajo, la construcción del Mapa de Flujo de Valor (VSM) y la formulación de un modelo de programación lineal para determinar la cuadrilla óptima.

3.2 Marco metodológico

El problema que trata de resolver la presente investigación no es únicamente describir una realidad existente, sino construir una solución concreta y aplicable para el sector constructor de Ocaña: una metodología que permita determinar la composición óptima de las cuadrillas de trabajo. Por ello, el marco metodológico adoptado es la Investigación en Ciencia de Diseño (Design Science Research, DSR), una tradición investigativa propia de las disciplinas de ingeniería que orienta al investigador a la creación de soluciones para problemas reales y no resueltos, denominadas artefactos (Holmström et al., 2009; Kasanen et al., 1993).

Se escogió al DSR como marco metodológico por tres razones fundamentales. En primer lugar, el carácter de la investigación es propositivo, es decir, no sólo se trata de medir la baja productividad de las cuadrillas de Ocaña, sino que se trata de entregar una herramienta de gestión que los profesionales del sector puedan utilizar directamente en obra. En segundo lugar, el DSR es consistente con el enfoque mixto del estudio, ya que combina medición cuantitativa de campo con juicio cualitativo sobre las prácticas de la industria local. En tercer lugar, este marco ha sido particularmente adecuado para la industria de la construcción, donde los problemas de productividad necesitan soluciones prácticas que unan la teoría con el contexto real.

Dentro del DSR, el producto de esta investigación es un método: una guía estructurada de pasos y herramientas que, a partir de la observación directa del proceso constructivo, del análisis de productividad mediante herramientas Lean Construction y la formulación de un modelo matemático, permite identificar la cuadrilla de trabajo óptima para las condiciones específicas de un proyecto de edificación en Ocaña, Norte de Santander. Según March & Smith (1995), el método es el tipo de artefacto más apropiado cuando el objetivo es ofrecer al investigador o practicante un conjunto de pasos orientados a la resolución de una tarea concreta.

La investigación se lleva a cabo en tres momentos consecutivos: diagnóstico del estado actual de la industria y del proceso constructivo; medición y análisis de la productividad en obra, y determinación de la cuadrilla óptima mediante un modelo de programación lineal. Esta estructura es coherente con los postulados del DSR y recoge la experiencia de Ardila Cubillos (2022) quien en Bucaramanga desarrolla la investigación más cercana al presente estudio, adaptándola a las condiciones del contexto local de Ocaña.

3.3 Población, muestra y unidad de análisis

3.3.1 Población y muestra - Componente cuantitativo (estudio de caso)

La población del componente cuantitativo la constituyen los proyectos edificatorios en fase de ejecución en la zona urbana del municipio de Ocaña, Norte de Santander, en los cuales se lleve a cabo el proceso constructivo que será definido como objeto de estudio. Se utiliza un muestreo no probabilístico por conveniencia (Otzen & Manterola, 2017), eligiendo un (1) proyecto de edificación que cumpla los siguientes criterios de inclusión:

Edificio en fase constructiva activa durante el período de recolección de datos.

El proceso constructivo que es objeto de estudio debe estar en ejecución al momento de las visitas de campo.

El contratista o el propietario del proyecto debe dar autorización para tener acceso y observar las actividades.

La cuadrilla debe tener por lo menos un (1) oficial y un (1) ayudante.

Se requiere que existan cantidades de obra suficientes para permitir realizar sesiones de muestreo del trabajo durante al menos (4) jornadas laborales completas.

Durante la fase de diagnóstico de la investigación se seleccionará el proceso constructivo objeto de estudio, con base en los siguientes criterios de priorización: (a) que sea la actividad o proceso constructivo en donde exista una disposición y facilidad para la toma de muestras; (b) que tenga carácter cíclico y repetitivo, lo que facilita el levantamiento sistemático de los tiempos de ciclo; y (c) que sea intensiva en uso de mano de obra, de manera que la optimización de la cuadrilla tenga un impacto real en los costos y plazos del proyecto.

3.3.2 Unidad de análisis

La unidad de análisis del componente cuantitativo es la cuadrilla de trabajo que ejecuta un proceso constructivo específico en un proyecto de edificación en ejecución en la zona urbana del municipio de Ocaña. Se denomina cuadrilla al grupo de trabajadores oficiales y sus ayudantes que, de manera continua y coordinada, efectúan la misma labor constructiva dentro de un ciclo de producción.

3.3.3 Población y muestra - Componente cualitativo (encuesta a la industria)

La población del componente cualitativo está integrada por los profesionales del sector de la construcción en el municipio de Ocaña, Norte de Santander: directores de obra, residentes, maestros de construcción e ingenieros civiles con experiencia en proyectos de edificación en la región. Puesto que el objetivo del cuestionario es realizar una caracterización exploratoria de las prácticas de la industria local y no hacer inferencias estadísticas sobre la población total, se aplica un muestreo no probabilístico por conveniencia, con un tamaño de muestra objetivo de entre veinte (20) y treinta (30) profesionales.

Este tamaño de la muestra es suficiente para los propósitos exploratorios y descriptivos de la investigación, en línea con los criterios de muestreo empleados en estudios similares de alcance descriptivo en el sector constructor (Caballero et al., 2018; Blandín, 2023). Los participantes serán convocados por medio de las redes institucionales de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña- (UFPSO), el gremio local de ingenieros y las empresas del sector de la construcción del municipio.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Debido al enfoque mixto de la investigación, se emplean técnicas de recolección de datos tanto cuantitativas como cualitativas. La elección de cada técnica está directamente relacionada con los objetivos específicos del estudio y con el tipo de información que se requiere en cada fase.

3.4.1 Observación directa - Técnica de muestreo de trabajo

Para medir la productividad de las cuadrillas en campo se utilizará la técnica de muestreo del trabajo, o también llamada técnica de los cinco minutos, la cual fue propuesta por Serpell (2002) y se ha usado ampliamente en estudios de productividad en el sector constructor colombiano (Botero, 2006;). Esta técnica consiste en registrar, cada cierto tiempo, la actividad que está realizando cada miembro de la cuadrilla en el momento mismo de la observación, clasificándola inmediatamente en una de las tres categorías de productividad establecidas (ver Tabla 2).

Las observaciones se harán en salidas al campo, en coincidencia con los horarios de trabajo activo de la cuadrilla. En cada intervalo de observación, el investigador anotará en una planilla de campo la actividad de cada trabajador y la clasificará según las tres categorías del modelo de productividad en construcción (Ghio, 2001):

Tabla 2

Categorías de clasificación del tiempo de trabajo en obra

Categoría	Código	Descripción
Trabajo productivo	TP	Actividades que generan valor directo sobre el producto final: instalar, fundir, pegar, nivelar.

Categoría	Código	Descripción
Trabajo contributivo	TC	Actividades de apoyo necesarias para que ocurra el trabajo productivo, pero que no agregan valor por sí mismas: Transportar materiales, mezclar, medir.
Trabajo No Contributivo	TNC	Tiempos en los que el trabajador no aporta al proceso constructivo de la actividad: esperas, descansos no programados, desplazamientos sin propósito y tiempos ociosos.

Con la información recopilada se podrá establecer la distribución porcentual del tiempo de trabajo de cada integrante de la cuadrilla y de la cuadrilla en conjunto, identificar las actividades que concentran mayor tiempo no productivo y construir la línea base sobre la cual se aplicarán las herramientas de diagnóstico Lean.

Con el fin de garantizar la validez estadística de los resultados obtenidos mediante el muestreo del trabajo, se determinó el tamaño muestral requerido de observaciones por trabajador a partir de la expresión propuesta por Serpell Bley (2002) para estudios de productividad en construcción:

Cálculo del tamaño de muestra

Donde:

$n = Z^2 \times p \times (1 - p) / e^2$

• n = número de observaciones requeridas

• Z = valor Z para el nivel de confianza (1.96 para 95%)

• p = proporción esperada (0.50 es el valor más conservador)

• e = margen de error aceptable (0.05 para ±5%)

Reemplazando:

$n = ((1.96)^2 \times 0.50 \times 0.50) / (0.05)^2$

$n = (3.8416 \times 0.25) / 0.0025 = 384$ observaciones

Por tanto, se requieren aproximadamente 384 observaciones para trabajar con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del ±5%.

Con un nivel de confianza del 95% (Z = 1.96), una proporción esperada de p = 0.50 como valor conservador que maximiza el tamaño de la muestra y un margen de error del $\pm 5\%$ (e = 0.05), se obtiene un mínimo de 384 observaciones por trabajador. Con la técnica de los cinco minutos aplicada en jornadas de ocho horas, cada jornada genera 96 observaciones por trabajador, por tanto, se requiere un mínimo de (4) jornadas completas de observación para alcanzar el umbral estadístico requerido. Para reflejar adecuadamente la variabilidad natural del proceso constructivo, estas jornadas se distribuirán en diferentes días y momentos de la semana.

3.4.2 Mapa de Flujo de Valor – VSM

A partir de la información de la muestra del trabajo se realizará el Mapa de Flujo de Valor (VSM) del proceso constructivo en su estado actual. El VSM es una herramienta de diagnóstico visual de la filosofía Lean Construction que permite identificar en un solo mapa el flujo de materiales y actividades durante el proceso señalando los puntos donde se generan desperdicios y tiempos de espera (Rother & Shook, 1999).

El mapa del estado actual mostrará el Tiempo TACK correspondiente al ritmo de producción que debe mantener la cuadrilla para cumplir el plazo del Proyecto y el tiempo de ciclo real medido en campo. Comparando ambos valores se puede determinar si la cuadrilla está produciendo al ritmo que demanda la obra o si está generando retrasos.

A partir de este diagnóstico, se construirá el VSM del estado futuro incorporando propuestas concretas de mejora denominadas Estallidos Kaizen orientadas a eliminar o reducir cada fuente de desperdicio detectada. Estas mejoras propuestas servirán de base para el cálculo de los tiempos optimizados que se utilizarán como entrada al modelo matemático de la Fase 3.

3.4.3 Encuesta estructurada a profesionales del sector

Para conocer las prácticas actuales de conformación de cuadrillas en el sector constructor de Ocaña, se diseñará y aplicará un cuestionario estructurado dirigido a profesionales experimentados en obras de edificación en el municipio. El instrumento se construirá de manera específica para el contexto local, abarcando los siguientes ejes temáticos: caracterización de la empresa y del encuestado; prácticas actuales de planificación y conformación de cuadrillas; nivel de conocimiento y aplicación de herramientas de productividad; y percepción sobre las principales causas de baja eficiencia en la mano de obra.

El cuestionario combinará preguntas cerradas de selección única, con el objetivo de recoger tanto datos precisos como percepciones sobre el tema, y preguntas en escala de valoración. La cantidad final de preguntas, así como su distribución por tema se determinarán en el transcurso del proceso de diseño del instrumento, asegurando que cada pregunta responda a uno de los objetivos específicos de la investigación. El instrumento se entregará sobre todo en formato digital, acompañado de visitas directas a las obras y a las asociaciones del sector de Ocaña.

3.4.4 Registro de costos de mano de obra

Para alimentar el modelo matemático de optimización se recopilará información sobre el costo real de la mano de obra en Ocaña: salario base, auxilio de transporte, prestaciones sociales y aportes a seguridad social de cada categoría de trabajador de la cuadrilla. Esta información se determinará en función del Salario Mínimo Legal Mensual Vigente (SMLMV) establecido por el Gobierno Nacional, la legislación laboral colombiana y los contratos de obra revisados en el caso de estudio del proyecto. Con estos datos se calculará el costo hora-cuadrilla para cada escenario de composición evaluado en el modelo.

3.5 Validación de instrumentos

Antes de su aplicación definitiva, los instrumentos de recolección de datos pasan por un proceso de validación en dos etapas:

3.5.1 Prueba piloto

Antes de su aplicación definitiva, el cuestionario se aplicará como prueba piloto a un grupo de (3) a (5) participantes seleccionados por conveniencia entre profesionales del sector constructor o docentes con experiencia en gestión de proyectos de construcción vinculados a la UFPSO o al medio laboral en Ocaña. El propósito de esta prueba es detectar problemas de comprensión, de instrucciones poco claras o preguntas ambiguas, con el fin de que el instrumento se pueda corregir antes de aplicarse en la muestra definitiva. Los resultados del estudio no se incluirán en el análisis final.

3.5.2 Juicio de expertos

El instrumento utilizado será evaluado por dos (2) profesionales con experiencia comprobada en investigación sobre productividad en construcción o Lean Construction, evalúan el instrumento ajustado en cuanto a pertinencia, coherencia, claridad y suficiencia de cada pregunta con relación a los objetivos del estudio. Sus observaciones forman parte del instrumento final, asegurando así la validez de contenido del cuestionario (Hernández et al., 2014).

3.6 Variables de estudio

En la Tabla 3 se presentan las principales variables consideradas en la investigación, su tipo, indicador de medición e instrumento de recolección.

Tabla 3

Variables de estudio de la investigación

Variable	Tipo	Indicador	Instrumento
Trabajo Productivo (TP)	Cuantitativa continua	% del tiempo total observado	Observación directa 5 min
Trabajo Contributivo (TC)	Cuantitativa continua	% del tiempo total observado	Observación directa 5 min
Trabajo no contributivo (TNC)	Cuantitativa continua	% del tiempo total observado	Observación directa 5 min
Composición de cuadrilla	Cuantitativa discreta	N.° de oficiales y ayudantes	Observación + registros de obra
Rendimiento de la actividad	Cuantitativa continua	Unidad de obra / hora-cuadrilla	Medición directa en campo
Costo hora-cuadrilla	Cuantitativa continua	COP / hora	Registro salarial vigente
Criterio de conformación actual	Cualitativa ordinal	Frecuencia de uso (Likert)	Encuesta estructurada
Pérdidas en el flujo	Cualitativa + cuantitativa	Tipo y duración de las pérdidas	VSM + observación directa

3.7 Procesamiento y análisis de la información

El procesamiento de los datos cuantitativos de la toma de muestras del trabajo incluye: estadística descriptiva (media, desviación estándar, coeficiente de variación) para caracterizar la distribución de los tiempos de ciclo observados; Análisis de Pareto para identificar las labores críticas del proceso constructivo; y construcción y análisis del VSM actual y del VSM futuro con los Estallidos Kaizen propuestos.

Los datos cualitativos obtenidos de la encuesta y la entrevista se analizan a través de frecuencia, distribución porcentual y representación gráfica. Se analizan las variables de escala Likert mediante estadística descriptiva de tipo ordinal.

3.8 Consideraciones éticas

La investigación se llevará a cabo acorde a los principios éticos establecidos por la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia. Conforme al Artículo 11 de dicha resolución, el estudio se clasifica como investigación sin riesgo, ya que se trabaja con técnicas de observación, encuesta y entrevista, sin ninguna intervención sobre las variables biológicas, fisiológicas o psicológicas de los participantes.

Todos los participantes profesionales encuestados, entrevistados y trabajadores observados en obra firmarán un consentimiento informado previo a su vinculación al estudio, donde se explicará el propósito de la investigación, el carácter voluntario de la participación y las garantías de confidencialidad y anonimato de los datos. Los informes o publicaciones que se deriven del estudio no contendrán la identidad de los participantes.

Para los trabajadores observados en obra, además del consentimiento del trabajador, se pedirá autorización expresa al contratista y/o propietario del proyecto. El material audiovisual

recopilado en el transcurso de las observaciones de campo será usado exclusivamente con fines académicos de investigación y no será difundido públicamente.

El trabajo de investigación se lleva a cabo bajo los principios de honestidad intelectual, respeto al derecho de autor y la correcta citación de todas las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA séptima edición. Los resultados se reportarán fielmente a los datos obtenidos, sin manipulación ni selección tendenciosa de los mismos.

Capítulo 4.

Resultados

4.1 Diagnosticar los métodos actuales de conformación de las cuadrillas de trabajo en las empresas constructoras de Ocaña a través de encuestas estructuradas a profesionales del sector, identificando las prácticas predominantes y las deficiencias en la asignación de personal

En una primera fase se orienta hacia el diagnóstico de las prácticas existentes en relación con la productividad y la conformación de cuadrillas en el sector constructor de Ocaña, proceso que se complementa con una búsqueda bibliográfica en Google Scholar, Dialnet y Redalyc sobre temas relacionados con Lean Construction, Value Stream Mapping, productividad de la mano de obra, optimización de cuadrillas y programación lineal. A la vez se realiza una encuesta estructurada a profesionales del sector, cuyos resultados se analizan mediante estadística descriptiva de frecuencias con el objetivo de identificar las prácticas predominantes, los factores que inciden en la productividad y los criterios utilizados para asignar, distribuir y organizar el personal dentro de las obras.

4.1.1 Revisión bibliográfica

Para la selección de los estudios se definieron criterios claros de inclusión y exclusión, con el fin de asegurar que los documentos revisados fueran pertinentes para la presente investigación.

Criterios de inclusión

- Estudios publicados entre los años 2019 y 2026.
- Estudios ubicados en bases de datos académicas como Google Scholar, Dialnet y Redalyc.
- Investigaciones relacionadas con Lean Construction, Value Stream Mapping, productividad de la mano de obra, productividad de la construcción, planificación de obra, optimización de recursos, conformación de cuadrillas o programación aplicada a procesos constructivos.
- Artículos científicos, revisiones bibliográficas, estudios de caso, tesis o documentos académicos con autor identificado y fuente verificable.
- Estudios desarrollados en el sector de la construcción o con aplicación directa en procesos constructivos, obras de edificación, vivienda, infraestructura o gestión de obra.
- Documentos que aporten elementos metodológicos, herramientas de análisis, resultados o conclusiones útiles para el diagnóstico de productividad, identificación de pérdidas, medición de rendimientos o mejora en la planificación de cuadrillas.

Criterios de exclusión

- Estudios publicados antes del año 2019.
- Documentos sin autor identificado, sin fecha de publicación o sin fuente académica verificable.
- Investigaciones duplicadas entre las bases de datos consultadas.
- Estudios centrados en sectores diferentes a la construcción, como manufactura,

industria general, logística o servicios, sin aplicación directa a obras constructivas.

- Documentos que mencionan Lean Construction o productividad de forma general, pero que no aportan información relacionada con mano de obra, cuadrillas, rendimientos, pérdidas, planificación, VSM o herramientas de mejora en obra.
- Estudios sin acceso a resumen, texto completo o información suficiente para determinar su pertinencia frente al tema de investigación.

4.1.1.1. Google Scholar

La Tabla 4 presenta los resultados de la búsqueda realizada en Google Scholar

Tabla 4

Estudios de Google Scholar

N.°	Título del estudio	Autor(es)	Aporte principal
1	Assessment of Human Productivity Drivers for Construction Labor through Importance Rating and Risk Mapping	(Gunduz & Abu-Hijleh, 2020)	Identifica factores que afectan la productividad laboral mediante valoración de impacto, importancia y riesgo.
2	Identifying factors affecting construction labour productivity in India and measures to improve productivity	(Agrawal & Halder, 2019)	Clasifica factores que afectan la productividad de la mano de obra y propone medidas de mejora.
3	Barriers to adopting lean construction in the construction industry: a literature review	(Albalkhy & Sweis, 2020)	Revisa barreras generales para adoptar Lean Construction en el sector constructor.
4	Barriers to Adopting Lean Construction in the Construction Industry—The Case of Jordan	(Balkhy, Sweis, & Lafhaj, 2021)	Analiza barreras de implementación Lean en empresas constructoras.
5	Application of lean in construction using value stream mapping	(Ramani & Lingan, 2019)	Aplica VSM para identificar actividades que no agregan valor y mejorar productividad.
6	Use of Value Stream Mapping in a Case Study in Basement Construction	(Rocio, Herrera, & Brioso, 2021)	Presenta un caso aplicado de VSM en construcción para mejorar flujo y reducir pérdidas.
7	Barriers to Adopting Lean Construction in Small and Medium-Sized Enterprises—The Case of Peru	(Huaman, Erazo, & Herrera, 2022)	Estudia barreras para aplicar Lean Construction en pymes constructoras.

N.°	Título del estudio	Autor(es)	Aporte principal
8	A Review on Lean Construction for Construction Project Management	(Garcés & Peña, 2023)	Revisa la aplicación de Lean Construction en la gestión de proyectos constructivos.
9	La metodología Lean Construction: una revisión sistemática a la bibliografía (2019-2023)	(Blandín, 2023)	Sistematiza estudios recientes sobre Lean Construction, herramientas y limitaciones.
10	Factors Affecting Labor Productivity in the Global Construction Industry: A Critical Review, Classification and Ranking	(Ardila, Duran, Martinez, & Mejia, 2024)	Clasifica y jerarquiza factores críticos de productividad laboral en construcción.

4.1.1.2. Dialnet

La Tabla 5 presenta los resultados de la búsqueda realizada en Dialnet

Tabla 5

Estudios Dialnet

N.°	Título del estudio	Autor(es)	Aporte principal
11	Metodología para la implementación de la filosofía Lean Construction en edificaciones	(Villarreal & Correa, 2020)	Propone una metodología para aplicar Lean Construction en edificaciones colombianas.
12	Principales requerimientos de una herramienta TI basada en Last Planner System	(Cortés, Herrera, & Muñoz, 2020)	Identifica requisitos para herramientas tecnológicas basadas en Last Planner.
13	Enseñanza de la filosofía de Lean Construction en la formación de Ingenieros Civiles	(Villagarcia & Brioso, 2020)	Relaciona Lean Construction con formación profesional y solución de problemas reales de obra.
14	Implementation del sistema del último planificador en el sector constructor colombiano: caso de estudio	(Hoyos & Botero, 2021)	Estudia la aplicación del Last Planner System en empresas constructoras colombianas.
15	Revisión bibliográfica sobre el estudio de pérdidas en la construcción bajo principios Lean	(Castaño, Sánchez, & García, 2021)	Analiza pérdidas en construcción y destaca el VSM como herramienta frecuente.
16	Aplicação do planejamento de curto prazo: estudo de caso em um canteiro de obras	(Bergamo & Catai, 2023)	Evalúa planificación de corto plazo y productividad en una obra.
17	Caso de éxito en la aplicación de Lean Construction en la ejecución de la obra del Hospital Arnau de Vilanova	(Bisbal, 2023)	Describe la aplicación de Lean Construction para reducir pérdidas y mejorar eficiencia.
18	Factors Affecting Labor Productivity in the Global Construction Industry	(Ardila, Durán, Vides, & Mejía, 2024)	Revisa y clasifica factores internos y externos que afectan la productividad laboral.

N.°	Título del estudio	Autor(es)	Aporte principal
19	Percepción de los factores de riesgos en los trabajadores de la construcción	(Jiménez, Cabrera, & Figuera, 2024)	Relaciona seguridad, formación y cultura organizacional con productividad en construcción.
20	Optimización de la Productividad en la Construcción: Técnicas y Herramientas de Lean Construction para la Eficiencia Operacional	(Encinas, Corral, López, Cervantes, & Durazo, 2025)	Evalúa herramientas Lean en vivienda y reporta mejoras en productividad y rendimiento.

4.1.1.3. Redalyc

La Tabla 6 presenta los resultados de la búsqueda realizada en Redalyc

Tabla 6

Estudios Redalyc

N.°	Título del estudio	Autor(es)	Aporte principal
21	Revisión bibliográfica sobre el estudio de pérdidas en la construcción bajo principios Lean	(Castaño, Sánchez, & García, 2021)	Estudia pérdidas, desperdicios y productividad desde Lean Construction.
22	Causas de retraso en la construcción de proyectos de agua potable y alcantarillado en Ecuador	(Castro, Castro, Osorio, & Merizalde, 2022)	Analiza causas de retraso que afectan tiempos, costos y planificación de obra.
23	Desafios e barreiras do BIM e do Lean na construção civil	(Renato & Muller, 2022)	Identifica barreras para integrar BIM y Lean en construcción civil.
24	Sector construcción en Ecuador	(Díaz, Arias, & Tinajero, 2020)	Describe condiciones del sector construcción, empleo, productividad y dinámica económica.
25	Performance management in construction projects: a systematic literature review	(Zuleta, Sanabria, Puerta, Ramirez, & Fajardo, 2023)	Revisa gestión del desempeño en proyectos de construcción.
26	Optimización temporal del proyecto de construcción de un parque infantil	(Méndez, Oteiza, Suárez, & Sánchez, 2023)	Aplica análisis de tiempos y programación para optimizar duración del proyecto.
27	El monitoreo del sector de la construcción en el Valle del Cauca	(Garay, Pavel, & Cerón, 2023)	Analiza indicadores del sector construcción y su relación con eficiencia productiva.
28	Factibilidad económico-constructiva del carrizo, el mimbre y el polvo de mármol para elaborar cadenas en muros	(Pérez, Rubio, Ponce, Salgado, & Esmeralda, 2023)	Evalúa alternativas constructivas desde costos, recursos y viabilidad.
29	Perception of risk in construction. Exploring the factors that influence experts in occupational health and safety	(Trillo, Carrillo, & Rubio, 2021)	Estudia factores de riesgo, seguridad y productividad en trabajadores de construcción.

N.°	Título del estudio	Autor(es)	Aporte principal
30	Feriados legales y productividad laboral en sectores económicos	(Llave & Mejía, 2025)	Analiza productividad laboral sectorial, incluyendo construcción como actividad intensiva en mano de obra.

4.1.2 Estudios seleccionados

Los cinco estudios seleccionados son los que guardan una relación más directa con la presente investigación, debido a que abordan la productividad de la mano de obra, la aplicación de herramientas Lean Construction, el uso del mapa de flujo de valor —VSM—, la planificación de las actividades de obra y los factores que influyen en el rendimiento laboral. En conjunto, estos antecedentes proporcionan fundamentos teóricos y metodológicos para diagnosticar las prácticas actuales, identificar y analizar las pérdidas presentes en los procesos constructivos, interpretar los resultados obtenidos mediante la encuesta y orientar la determinación técnica de la composición óptima de las cuadrillas en obras de edificación desarrolladas en el municipio de Ocaña (ver Tabla 7).

Tabla 7

Estudios seleccionados

N.°	Estudio seleccionado	Autor(es)	Base	Relación con la investigación
1	Assessment of Human Productivity Drivers for Construction Labor through Importance Rating and Risk Mapping	(Gunduz & Abu-Hijleh, 2020)	Google Scholar	Se relaciona directamente con la encuesta aplicada, porque identifica factores de productividad laboral mediante valoración de impacto e importancia.
2	Application of lean in construction using value stream mapping	(Ramani & Lingan, 2019)	Google Scholar	Aporta soporte para aplicar VSM como herramienta de diagnóstico de pérdidas y mejora del flujo de trabajo.
3	Use of Value Stream Mapping in a Case Study in Basement Construction	(Rocio, Herrera, & Brioso, 2021)	Google Scholar	Presenta un caso aplicado de VSM en construcción, útil para orientar el análisis del proceso constructivo seleccionado.

N.°	Estudio seleccionado	Autor(es)	Base	Relación con la investigación
4	Implementation del sistema del último planificador en el sector constructor colombiano: caso de estudio	(Hoyos & Botero, 2021)	Dialnet	Aporta evidencia colombiana sobre herramientas Lean aplicadas a planificación y control de obra.
5	Factors Affecting Labor Productivity in the Global Construction Industry: A Critical Review, Classification and Ranking	(Ardila, Durán, Vides, & Mejía, 2024)	Dialnet / Google Scholar	Clasifica factores de productividad laboral en construcción y permite comparar los resultados de la encuesta con evidencia reciente.

4.1.3 Encuesta

A continuación, se presentan los hallazgos obtenidos mediante la aplicación de una encuesta dirigida a profesionales vinculados con el sector de la construcción en Ocaña, Norte de Santander, entre los que se encontraban ingenieros residentes, supervisores, maestros de obra, directores de obra, contratistas y otros actores relacionados con la ejecución de proyectos constructivos. El instrumento tuvo como propósito conocer las percepciones de los participantes acerca de los factores que influyen en la productividad de la mano de obra y la manera en que actualmente se conforman las cuadrillas de trabajo en las obras de edificación.

A través de la encuesta fue posible recopilar información sobre el perfil profesional de los participantes, su experiencia en el sector, el nivel de conocimiento y aplicación de herramientas relacionadas con Lean Construction y la medición de la productividad, así como la valoración de la frecuencia y el impacto de diferentes factores asociados con la gestión, la motivación, el talento humano, los aspectos técnicos, la seguridad y las condiciones externas.

De igual manera, se incorporaron preguntas orientadas a identificar los criterios utilizados para conformar las cuadrillas, la práctica de registrar los rendimientos reales y la percepción sobre la viabilidad de emplear herramientas Lean para mejorar la distribución del personal en obra. Los resultados fueron organizados mediante frecuencias, porcentajes y promedios, lo que facilitó su interpretación y permitió establecer tendencias generales sobre las prácticas actuales

del sector constructor.

4.1.3.1. Sección A. Información general del encuestado

Los resultados de la Sección A muestran que la encuesta fue respondida por profesionales con experiencia directa en el sector de la construcción de Ocaña. El 26,7 % se desempeña como ingeniero residente, el 20,0 % como maestro de obra, el 16,7 % como director de obra, el 16,7 % como contratista, el 13,3 % como supervisor y el 6,7 % ocupa otros cargos, distribución que evidencia que la información proviene de actores vinculados con la ejecución, supervisión, coordinación y organización de las actividades desarrolladas en obra.

En cuanto al tipo de organización, el 36,7 % de los participantes trabaja en empresas constructoras, el 23,3 % en organizaciones contratistas, el 13,3 % en empresas subcontratistas, el 13,3 % en consultoría o interventoría, el 6,7 % en entidades públicas y el 6,7 % en otro tipo de organización. Estos porcentajes indican que una proporción importante de las respuestas corresponde a profesionales involucrados directamente en la ejecución y el seguimiento de proyectos constructivos, lo que aporta pertinencia al diagnóstico sobre productividad y conformación de cuadrillas.

Respecto al tipo de proyecto, el 43,3 % cuenta con experiencia en edificaciones residenciales, el 20,0 % en edificaciones comerciales, el 16,7 % en proyectos institucionales, el 13,3 % en infraestructura y el 6,7 % en otras clases de proyectos. Esta distribución guarda correspondencia con el enfoque de la investigación, debido a que el 80,0 % de los encuestados posee experiencia en proyectos de edificación, contexto en el que se analizará la productividad de la mano de obra y la composición de las cuadrillas en el municipio de Ocaña.

Con relación a la trayectoria profesional, el 33,3 % de los participantes registra entre 5 y

10 años de experiencia, el 26,7 % entre 11 y 15 años, el 23,3 % más de 15 años y el 16,7 % menos de 5 años. En conjunto, el 83,3 % cuenta con más de cinco años de experiencia en el sector de la construcción, condición que fortalece la pertinencia de sus apreciaciones sobre productividad, organización del trabajo, distribución del personal y conformación de cuadrillas.

En cuanto al área principal de desempeño, el 86,7 % desarrolla sus actividades en la zona urbana de Ocaña, mientras que el 13,3 % trabaja principalmente en el sector rural, resultado que mantiene correspondencia con la delimitación geográfica establecida para la investigación. Asimismo, el 80,0 % ha participado en la planificación o conformación de cuadrillas de trabajo, frente al 20,0 % que no ha intervenido en este proceso, lo que demuestra que un porcentaje significativo de los encuestados posee experiencia directa en la asignación, distribución y organización del personal en obra.

Por otra parte, el conocimiento sobre Lean Construction se concentra en los niveles básico e intermedio, representados por el 46,7 % y el 30,0 %, respectivamente, mientras que el 10,0 % manifiesta contar con un nivel avanzado y el 13,3 % señala no conocer esta filosofía. En relación con las herramientas de productividad, el 60,0 % conoce o ha utilizado el Last Planner System, el 46,7 % el Mapa de Flujo de Valor, el 33,3 % el diagrama de balance de cuadrilla y el 26,7 % el muestreo de trabajo, mientras que el 6,7 % no ha utilizado ninguna de estas herramientas. En consecuencia, aunque se identifica un acercamiento a metodologías orientadas al mejoramiento de los procesos constructivos, todavía resulta necesario fortalecer la aplicación de herramientas específicas para medir la productividad, identificar pérdidas y optimizar técnicamente la conformación de las cuadrillas (ver Tabla 8).

Tabla 8

Información general del encuestado

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Cargo principal		
Director de obra	5	16,7%
Ingeniero residente	8	26,7%
Supervisor	4	13,3%
Maestro de obra	6	20,0%
Contratista	5	16,7%
Otro	2	6,7%
Tipo de organización		
Constructora	11	36,7%
Contratista	7	23,3%
Subcontratista	4	13,3%
Consultoría/interventoría	4	13,3%
Entidad pública	2	6,7%
Otra	2	6,7%
Sector o tipo de proyecto		
Edificaciones residenciales	13	43,3%
Edificaciones comerciales	6	20,0%
Institucional	5	16,7%
Infraestructura	4	13,3%
Otro	2	6,7%
Años de experiencia		
Menos de 5	5	16,7%
5 a 10	10	33,3%
11 a 15	8	26,7%
Más de 15	7	23,3%
Municipio o zona principal		
Ocaña - Urbano	26	86,7%
Ocaña - Rural	4	13,3%
Participación en la conformación de cuadrillas		
Sí	24	80,0%
No	6	20,0%
Nivel de conocimiento sobre Lean Construction		
Nulo	4	13,3%
Básico	14	46,7%
Intermedio	9	30,0%
Avanzado	3	10,0%
Herramientas de productividad usadas o conocidas		
Muestreo de trabajo	8	26,7%
Diagrama de balance de cuadrilla	10	33,3%
Mapa de Flujo de Valor / VSM	14	46,7%
Last Planner System	18	60,0%

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Ninguna	2	6,7%

4.1.3.2. Sección B. Factores que afectan la productividad de la mano de obra

En la Sección B se presentan los resultados relacionados con los factores que influyen en la productividad de la mano de obra en las obras de edificación. Para facilitar su análisis, los 37 factores incluidos en el instrumento se organizaron en seis dimensiones: gestión, motivacional, humana, técnica, seguridad y externa. Cada participante asignó dos valoraciones a cada factor, una relacionada con el nivel de impacto sobre la productividad y otra asociada con la frecuencia con la que se presenta en las obras, utilizando en ambos casos una escala de 1 a 5, donde 1 representa un nivel bajo y 5 un nivel alto.

A partir de las valoraciones obtenidas se realizó la tabulación de la información y, en primer lugar, se calculó el promedio de impacto, denominado Prom. impacto, el cual corresponde a la media de las respuestas asignadas por los participantes a la influencia de cada factor sobre la productividad. Posteriormente, se determinó el RII (Relative Importance Index, por sus siglas en inglés) o Índice de Importancia Relativa del impacto, mediante el cual el promedio obtenido se expresa como una proporción entre 0 % y 100 %, facilitando así la comparación entre los diferentes factores. En este sentido, un porcentaje cercano al 100 % indica que el factor es percibido como altamente influyente en el rendimiento de la mano de obra.

De manera similar, se calculó el promedio de frecuencia, identificado como Prom. frecuencia, que representa la media de las respuestas relacionadas con la recurrencia de cada factor en las obras analizadas. Con base en este valor se obtuvo el RII frecuencia o Índice de Importancia Relativa de la frecuencia, el cual permite expresar en términos porcentuales qué tan habitual es la presencia de cada situación dentro de los procesos constructivos. Por consiguiente,

un porcentaje próximo al 100 % significa que el factor se presenta con elevada frecuencia, mientras que un valor reducido indica una ocurrencia menos habitual.

Finalmente, se calculó el Índice ajustado, obtenido mediante la combinación del RII de impacto y el RII de frecuencia, con el propósito de identificar aquellos factores que, además de ejercer una influencia considerable sobre la productividad, se presentan repetidamente durante la ejecución de las actividades. De este modo, los factores con los porcentajes más altos requieren una atención prioritaria dentro del diagnóstico, ya que representan situaciones que pueden afectar de manera significativa la eficiencia del trabajo, la planificación de las actividades y la conformación adecuada de las cuadrillas.

Dimensión Gestión

En la dimensión Gestión, los factores con los índices ajustados más altos fueron la mala gestión de materiales y equipos, con 78,5 %, el tamaño y la composición de la cuadrilla, con 73,3 %, y la comunicación deficiente entre los integrantes del equipo del proyecto, con 67,6 %. Estos resultados evidencian que la productividad de la mano de obra se encuentra estrechamente relacionada con la organización de las actividades, la disponibilidad oportuna de los recursos y la coordinación entre las personas que intervienen en la ejecución de la obra.

La mala gestión de materiales y equipos registró un RII de impacto de 91,3 % y un RII de frecuencia de 86,0 %, lo que indica que, además de ser considerada altamente influyente, se presenta de manera recurrente en los proyectos analizados. Esta situación permite reconocer que las fallas en el suministro, almacenamiento, ubicación o disponibilidad de materiales, herramientas y equipos pueden generar tiempos de espera, desplazamientos innecesarios, interrupciones y retrasos en el desarrollo de las actividades.

Por su parte, el tamaño y la composición de la cuadrilla alcanzaron un RII de impacto de 89,3 % y un RII de frecuencia de 82,0 %, resultado que guarda una relación directa con el propósito de la investigación. Estos porcentajes confirman que la asignación adecuada del número de oficiales y ayudantes resulta fundamental para distribuir equilibradamente las cargas de trabajo, disminuir los tiempos de inactividad y mejorar la eficiencia durante la ejecución de las tareas. Finalmente, la comunicación deficiente obtuvo un RII de impacto de 91,3 % y un RII de frecuencia de 74,0 %, lo que demuestra que las dificultades relacionadas con la transmisión de instrucciones, la coordinación de las actividades y el intercambio de información pueden afectar de manera considerable el rendimiento diario de las cuadrillas (ver Tabla 9).

Tabla 9

Factores de gestión que influyen en la conformación de cuadrillas de trabajo

Factor	Prom. impacto	RII impacto	Prom. frecuencia	RII frecuencia	Índice ajustado
Demoras en inspecciones	3,83	76,7%	3,73	74,7%	57,2%
Supervisión deficiente de la mano de obra	4,50	90,0%	3,33	66,7%	60,0%
Ubicación inadecuada de zonas de almacenamiento	3,97	79,3%	3,30	66,0%	52,4%
Tamaño y composición de la cuadrilla	4,47	89,3%	4,10	82,0%	73,3%
Retrasos en pagos	4,27	85,3%	3,00	60,0%	51,2%
Falta de reuniones periódicas de coordinación	4,07	81,3%	3,33	66,7%	54,2%
Comunicación deficiente entre los integrantes del equipo del proyecto	4,57	91,3%	3,70	74,0%	67,6%
Cambios frecuentes de órdenes o instrucciones de trabajo	4,30	86,0%	3,20	64,0%	55,0%
Alta proporción de trabajo subcontratado	3,70	74,0%	3,20	64,0%	47,4%
Intervención frecuente del cliente durante la ejecución	3,83	76,7%	2,83	56,7%	43,4%
Gestión deficiente de materiales y equipos	4,57	91,3%	4,30	86,0%	78,5%
Exceso de horas extras	3,90	78,0%	3,33	66,7%	52,0%

Dimensión Motivacional

En la dimensión Motivacional, el factor con el índice ajustado más alto fue la falta de capacitación o entrenamiento, con 60,6 %, seguido por el ambiente de trabajo deficiente, con 45,2 %, la baja satisfacción laboral, con 45,0 %, la falta de estabilidad o seguridad en el empleo, con 43,6 %, y la ausencia de programas de reconocimiento al trabajador, con 37,0 %. Estos resultados muestran que, dentro de esta dimensión, las oportunidades de formación y fortalecimiento de las competencias laborales tienen una relación más directa con la productividad que los demás factores motivacionales evaluados.

De manera particular, la falta de capacitación o entrenamiento registró un RII de impacto de 82,7 % y un RII de frecuencia de 73,3 %, lo que permite identificarla como una situación que influye considerablemente en el rendimiento de la mano de obra y que, además, se presenta de forma recurrente en las obras. La ausencia de formación técnica puede generar errores durante la ejecución, retrabajos, aprovechamiento ineficiente del tiempo y dificultades para cumplir con los procedimientos y estándares establecidos, mientras que el ambiente de trabajo deficiente, con un índice ajustado de 45,2 %, y la baja satisfacción laboral, con 45,0 %, evidencian que las condiciones en las que se desempeñan los trabajadores también afectan el funcionamiento de las cuadrillas, aunque con una incidencia inferior a la registrada por la capacitación (ver Tabla 10).

Tabla 10

Factores motivacionales que afectan la productividad de las cuadrillas de trabajo

Factor	Prom. impacto	RII impacto	Prom. frecuencia	RII frecuencia	Índice ajustado
Baja satisfacción laboral	3,97	79,3%	2,83	56,7%	45,0%
Ambiente de trabajo deficiente	3,90	78,0%	2,90	58,0%	45,2%
Falta de estabilidad o seguridad laboral	3,63	72,7%	3,00	60,0%	43,6%

Factor	Prom. impacto	RII impacto	Prom. frecuencia	RII frecuencia	Índice ajustado
Falta de programas de reconocimiento al trabajador	3,47	69,3%	2,67	53,3%	37,0%
Falta de capacitación o entrenamiento	4,13	82,7%	3,67	73,3%	60,6%

Dimensión Humana

En la dimensión Humana, el factor con el índice ajustado más alto fue la mano de obra poco calificada, con 72,1 %, seguido por la comunicación deficiente con los trabajadores, con 65,9 %, la falta de tiempos de descanso durante la jornada o la presencia de fatiga, con 53,2 %, el ausentismo laboral, con 49,8 %, y la escasez de mano de obra disponible, con 44,8 %. Estos porcentajes evidencian que las competencias técnicas del personal y la comunicación directa con los trabajadores constituyen aspectos determinantes para el rendimiento y la organización de las cuadrillas.

De manera particular, la mano de obra poco calificada registró un RII de impacto de 89,3 % y un RII de frecuencia de 80,7 %, lo que permite reconocer este factor como altamente influyente y recurrente en las obras analizadas. Las limitaciones en los conocimientos y habilidades técnicas pueden disminuir la calidad del trabajo, prolongar los tiempos de ejecución y aumentar la necesidad de realizar correcciones o retrabajos, afectando directamente el cumplimiento de la programación y el aprovechamiento de los recursos.

Por su parte, la comunicación deficiente con los trabajadores alcanzó un RII de impacto de 90,7 %, un RII de frecuencia de 72,7 % y un índice ajustado de 65,9 %, resultados que muestran que la productividad también depende de la claridad con la que se transmiten las instrucciones, se asignan las responsabilidades y se explican los procedimientos de trabajo (ver Tabla 11).

Tabla 11

Factores humanos asociados a la productividad de las cuadrillas de trabajo

Factor	Prom. impacto	RII impacto	Prom. frecuencia	RII frecuencia	Índice ajustado
Mano de obra poco calificada	4,47	89,3%	4,03	80,7%	72,1%
Falta de tiempos de descanso durante la jornada o fatiga	3,83	76,7%	3,47	69,3%	53,2%
Escasez de mano de obra disponible	3,53	70,7%	3,17	63,3%	44,8%
Ausentismo laboral	3,93	78,7%	3,17	63,3%	49,8%
Comunicación deficiente con los trabajadores	4,53	90,7%	3,63	72,7%	65,9%

Dimensión Técnica

En la dimensión Técnica, el factor con el índice ajustado más alto fue la metodología constructiva inadecuada, con 69,7 %, seguido por la gestión y logística deficientes en el lugar de trabajo, con 68,6 %, y los reprocesos, con 67,1 %. Estos resultados evidencian que los principales factores técnicos que afectan la productividad se relacionan con la manera en que se ejecutan las actividades, la organización del frente de trabajo y la necesidad de repetir procesos debido a errores o dificultades presentadas durante la construcción.

La metodología constructiva inadecuada alcanzó un RII de impacto de 89,3 % y un RII de frecuencia de 78,0 %, lo que permite reconocerla como una situación altamente influyente y recurrente en las obras analizadas. Este resultado muestra que la ausencia de procedimientos claros, secuencias de trabajo adecuadas o métodos estandarizados puede generar desorganización, pérdidas de tiempo y disminución del rendimiento de las cuadrillas, especialmente cuando los trabajadores no cuentan con instrucciones precisas sobre la forma en que deben desarrollar cada actividad.

Por su parte, la gestión y logística deficientes en el lugar de trabajo registraron un RII de

impacto de 88,7 % y un RII de frecuencia de 77,3 %, lo que confirma que la ubicación de los materiales y equipos, la organización de las zonas de almacenamiento, la distribución de los espacios y las rutas de circulación influyen directamente en el aprovechamiento del tiempo laboral. Asimismo, los reprocesos presentaron un RII de impacto de 94,0 % y un RII de frecuencia de 71,3 %, resultados que muestran que la corrección de actividades ejecutadas de manera inadecuada genera pérdidas importantes de productividad, aun cuando se presente con una frecuencia inferior a la metodología constructiva inadecuada y a las deficiencias logísticas (ver Tabla 12)

Tabla 12

Factores técnicos que inciden en el desempeño de las cuadrillas de trabajo

Factor	Prom. impacto	RII impacto	Prom. frecuencia	RII frecuencia	Índice ajustado
Demora en responder solicitudes de información técnica (RFI)	3,97	79,3%	2,73	54,7%	43,4%
Especificaciones técnicas poco claras	4,03	80,7%	3,33	66,7%	53,8%
Logística y gestión deficiente del sitio de obra	4,43	88,7%	3,87	77,3%	68,6%
Errores de diseño y cambios durante la construcción	4,30	86,0%	2,90	58,0%	49,9%
Metodología constructiva deficiente	4,47	89,3%	3,90	78,0%	69,7%
Reprocesos	4,70	94,0%	3,57	71,3%	67,1%

Dimensión Seguridad

En la dimensión Seguridad, el factor con el índice ajustado más alto fue el incumplimiento de las precauciones y normas de seguridad, con 51,8 %, seguido por las condiciones de trabajo inseguras, con 50,8 %, la ausencia de un responsable de seguridad en la obra, con 40,9 %, y los altos niveles de ruido, con 30,5 %. Estos resultados evidencian que las condiciones de seguridad influyen en la productividad, especialmente cuando el entorno laboral

no permite desarrollar las actividades de manera ordenada, continua y segura.

El incumplimiento de las precauciones y normas de seguridad alcanzó un RII de impacto de 85,3 % y un RII de frecuencia de 60,7 %, lo que indica que este factor es percibido como altamente influyente, aunque su presencia en las obras se presenta con una frecuencia moderada. En este sentido, la falta de cumplimiento de los procedimientos establecidos puede ocasionar accidentes, interrupciones, retrasos y disminución del rendimiento de las cuadrillas, además de afectar la continuidad de las actividades programadas.

Por su parte, las condiciones de trabajo inseguras registraron un RII de impacto de 84,7 %, un RII de frecuencia de 60,0 % y un índice ajustado de 50,8 %, resultados que muestran que la existencia de áreas desorganizadas, accesos inadecuados, señalización insuficiente o riesgos sin controlar puede reducir el desempeño de los trabajadores (ver Tabla 13).

Tabla 13

Factores de seguridad y salud en el trabajo que afectan la productividad de las cuadrillas

Factor	Prom. impacto	RII impacto	Prom. frecuencia	RII frecuencia	Índice ajustado
Incumplimiento de precauciones y normas de seguridad	4,27	85,3%	3,03	60,7%	51,8%
Ausencia de responsable de seguridad en la obra	4,03	80,7%	2,53	50,7%	40,9%
Altos niveles de ruido	2,90	58,0%	2,63	52,7%	30,5%
Condiciones inseguras de trabajo	4,23	84,7%	3,00	60,0%	50,8%

Dimensión Externa

En la dimensión Externa, el factor con el índice ajustado más alto fue la presencia de condiciones inesperadas del terreno, con 53,7 %, seguido por la inestabilidad económica local, con 51,7 %, las condiciones climáticas desfavorables, con 45,1 %, los cambios frecuentes en la normativa, con 35,7 %, y las demoras en las aprobaciones por parte de las autoridades, con 35,2

%. Estos resultados evidencian que los factores externos también influyen en la productividad de la mano de obra, aunque su manejo depende en gran medida de situaciones que no se encuentran bajo el control directo de las cuadrillas ni del equipo responsable de la ejecución.

Las condiciones inesperadas del terreno registraron un RII de impacto de 81,3 % y un RII de frecuencia de 66,0 %, lo que permite reconocer que este factor puede modificar la planificación inicial, exigir ajustes en los métodos constructivos y afectar el avance previsto de las actividades. En este sentido, cualquier variación no contemplada en las características del suelo puede alterar los tiempos de ejecución, la asignación del personal, la utilización de los equipos y la secuencia de trabajo, por lo que resulta necesario contar con mecanismos de evaluación previa y capacidad de respuesta ante posibles cambios.

Por su parte, la inestabilidad económica local alcanzó un RII de impacto de 76,0 %, un RII de frecuencia de 68,0 % y un índice ajustado de 51,7 %, resultados que muestran que las variaciones en los costos, la disponibilidad de insumos y las condiciones del mercado pueden afectar indirectamente el rendimiento de la mano de obra. Esta influencia se hace evidente cuando dichas variaciones generan retrasos en las compras, la contratación de personal o el suministro de materiales, lo que puede ocasionar interrupciones, tiempos de espera y modificaciones en la programación de las actividades (ver Tabla 14).

Tabla 14

Factores externos que influyen en la productividad de las cuadrillas de trabajo

Factor	Prom. impacto	RII impacto	Prom. frecuencia	RII frecuencia	Índice ajustado
Condiciones climáticas adversas	3,93	78,7%	2,87	57,3%	45,1%
Condiciones imprevistas del terreno	4,07	81,3%	3,30	66,0%	53,7%
Demoras en aprobaciones por parte de autoridades	3,43	68,7%	2,57	51,3%	35,2%

Factor	Prom. impacto	RII impacto	Prom. frecuencia	RII frecuencia	Índice ajustado
Cambios frecuentes en la normatividad	3,43	68,7%	2,60	52,0%	35,7%
Inestabilidad económica local	3,80	76,0%	3,40	68,0%	51,7%

4.1.3.3. Sección C. Módulo complementario sobre la conformación de cuadrillas

Los resultados de la Sección C evidencian que la conformación de las cuadrillas se fundamenta principalmente en criterios empíricos, puesto que el 36,7 % de los encuestados señaló que esta decisión se toma de acuerdo con la experiencia del encargado, el 23,3 % con base en la disponibilidad de personal, el 13,3 % a partir del rendimiento histórico y otro 13,3 % según el presupuesto, mientras que únicamente el 10,0 % manifestó que se realiza un análisis técnico de productividad. Esta distribución permite reconocer que la asignación de trabajadores continúa dependiendo, en gran medida, de decisiones prácticas adoptadas durante la ejecución, sin que exista una utilización constante de mediciones sistemáticas que permitan determinar técnicamente el número y la combinación de trabajadores requeridos para cada actividad.

Con relación al análisis del tamaño de las cuadrillas, el 36,7 % indicó que esta revisión se realiza algunas veces, el 23,3 % rara vez y otro 23,3 % casi siempre, mientras que el 10,0 % señaló que nunca se lleva a cabo y solamente el 6,7 % afirmó que se efectúa siempre. Estos porcentajes muestran que la evaluación del número adecuado de trabajadores no constituye una práctica permanente en las obras analizadas, situación que puede generar desequilibrios en la distribución de las tareas, tiempos de espera, periodos de inactividad y disminución de la eficiencia durante la ejecución de los procesos constructivos.

Esta limitada aplicación de criterios técnicos también se refleja en el registro de los rendimientos reales, debido a que el 46,7 % señaló que este procedimiento se desarrolla parcialmente, el 30,0 % manifestó que no se realiza y solo el 23,3 % indicó que sí se lleva a cabo

de manera efectiva. Una situación semejante se presenta en la utilización de datos propios para actualizar los análisis de precios unitarios, ya que el 46,7 % afirmó que se emplean parcialmente, el 33,3 % señaló que no se utilizan y únicamente el 20,0 % confirmó su aplicación. En conjunto, estos resultados evidencian una debilidad en la generación, sistematización y aprovechamiento de información técnica propia, lo que limita la posibilidad de ajustar los rendimientos, costos y necesidades de personal a las condiciones reales de cada proyecto.

En cuanto a la asignación diaria de trabajadores con apoyo en información técnica, el 36,7 % manifestó que se realiza algunas veces, el 26,7 % rara vez, el 16,7 % casi siempre, el 13,3 % nunca y solo el 6,7 % siempre. Esta distribución confirma que la planificación cotidiana de la mano de obra todavía se apoya principalmente en necesidades operativas inmediatas, en lugar de utilizar de manera continua datos relacionados con los rendimientos, las restricciones del proceso, la carga de trabajo y la composición requerida para cada actividad, lo que puede favorecer decisiones reactivas y dificultar la optimización de las cuadrillas.

Frente a la presencia de retrasos, las respuestas muestran diferentes formas de actuación, debido a que el 23,3 % señaló que se aumenta el personal y otro 23,3 % indicó que se reprograman las actividades, mientras que el 20,0 % revisa las restricciones del proceso, el 16,7 % incrementa las horas extras, el 10,0 % modifica el método constructivo y el 6,7 % aplica otras medidas. Aunque algunas de estas acciones pueden contribuir a recuperar el avance, el aumento de trabajadores o de horas laborales no garantiza por sí solo una mejora de la productividad si antes no se identifican las causas que originaron el retraso.

No obstante, se observa una disposición favorable hacia la adopción de metodologías de mejoramiento, puesto que el 40,0 % considera viable aplicar herramientas Lean Construction y el 20,0 % las considera muy viables, lo que representa un 60,0 % de aceptación y evidencia una

oportunidad para fortalecer la planificación, utilizar información real de rendimiento y mejorar técnicamente la conformación de las cuadrillas en las obras de edificación de Ocaña (ver Tabla 15).

Tabla 15

Resultados del módulo complementario de la encuesta sobre conformación y productividad de cuadrillas

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Criterio principal de conformación		
Experiencia del encargado	11	36,7%
Rendimiento histórico	4	13,3%
Disponibilidad de personal	7	23,3%
Presupuesto	4	13,3%
Análisis técnico de productividad	3	10,0%
Otro	1	3,3%
Análisis del tamaño de cuadrilla		
Nunca	3	10,0%
Rara vez	7	23,3%
Algunas veces	11	36,7%
Casi siempre	7	23,3%
Siempre	2	6,7%
Registro de rendimientos reales		
Sí	7	23,3%
No	9	30,0%
Parcialmente	14	46,7%
Uso propio para APU		
Sí	6	20,0%
No	10	33,3%
Parcialmente	14	46,7%
Asignación diaria con información técnica		
Nunca	4	13,3%
Rara vez	8	26,7%
Algunas veces	11	36,7%
Casi siempre	5	16,7%
Siempre	2	6,7%
Acción frecuente ante retrasos		
Aumentar personal	7	23,3%
Aumentar horas extras	5	16,7%
Reprogramar actividades	7	23,3%

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Cambiar método constructivo	3	10,0%
Revisar restricciones del proceso	6	20,0%
Otra	2	6,7%
Viabilidad para aplicar la herramienta Lean		
No viable	1	3,3%
Poco viable	3	10,0%
Medianamente viable	8	26,7%
Viable	12	40,0%
Muy viable	6	20,0%

4.2 Evaluar la productividad de la mano de obra en el proceso constructivo objeto de estudio mediante la aplicación de herramientas de Lean Construction, obteniendo indicadores de Trabajo Productivo (TP), Contributivo (TC) y No Contributivo (TNC) y el costo-hora por actividad

La segunda fase comprende la medición y el análisis de la productividad de las cuadrillas en el proyecto seleccionado como caso de estudio en Ocaña, iniciando con la caracterización del proceso constructivo y la identificación de aspectos como las cantidades de obra, los materiales, las herramientas, los equipos utilizados y las distancias de desplazamiento dentro del frente de trabajo. Posteriormente, se aplica la técnica de muestreo del trabajo, también conocida como técnica de los cinco minutos, mediante la cual se registran las actividades desarrolladas por cada integrante de la cuadrilla y se clasifican como Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributivo (TC) o Trabajo No Contributivo (TNC); a partir de esta información se determinan los indicadores de productividad, los rendimientos y los tiempos de ciclo reales, complementando el análisis con la representación del proceso mediante BPMN 2.0.

Con los datos obtenidos se desarrolla un análisis de Pareto para identificar las principales fuentes de pérdida y establecer cuáles actividades concentran una mayor proporción de tiempos improductivos, información que posteriormente permite construir el VSM actual y visualizar de

manera integral el flujo del proceso. Finalmente, se plantea el VSM futuro mediante Estallidos Kaizen orientados a reducir o eliminar actividades que no generan valor, mejorar la secuencia de trabajo y establecer tiempos y condiciones de ejecución optimizados.

4.2.1 Selección del proyecto y descripción del proceso

El proyecto seleccionado corresponde a la construcción del nuevo edificio administrativo del Hospital Emiro Quintero Cañizares, ubicado en el área urbana de Ocaña, Norte de Santander. Se trata de una edificación institucional vinculada a la infraestructura hospitalaria, que se encuentra en fase de cimentación. Se escogió por criterio práctico esta etapa, debido a que la obra se encontraban en actividades preliminares y de cimentación de la estructura, por tanto, se cumple uno de los criterios más importantes, que exista el espacio y la disposición para la toma de datos, además, comprende actividades que requieren una gran cantidad mano de obra, el uso de herramientas manuales, maquinaria y una constante colaboración entre el maestro de obra, los trabajadores, el ingeniero residente y el operador del equipo mecánico.

En la fase constructiva se evalúan dos actividades principales. En primer lugar, se realiza la demolición de la losa (e -30 cm) de concreto de una cancha deportiva existente, un proceso necesario para adecuar y preparar el espacio correspondiente a la construcción de la cimentación, en este caso, zapatas aisladas. La segunda pertenece a la excavación manual de las zapatas aisladas, para lo cual se emplea una retroexcavadora que afloja la tierra compactada, antes de llevar a cabo esta actividad (ver Tabla 16).

Tabla 16

Características generales del proyecto seleccionado

Aspecto	Descripción
Nombre del proyecto	Nuevo edificio administrativo — Hospital Emiro Quintero Cañizares
Ubicación	Zona urbana, municipio de Ocaña, Norte de Santander, Colombia
Tipo de edificación	Institucional — infraestructura hospitalaria
Fase constructiva evaluada	Cimentación
Actividades observadas	Demolición de losa (e -30 cm) preexistente y excavación manual de zapatas
Antecedente del terreno	Cancha deportiva preexistente con losa (e -30 cm) de concreto
Dimensiones de cada zapata	2,0 m × 2,0 m × 2,6 m
Volumen por zapata	10,4 m^3
Total de zapatas del proyecto	31 zapatas
Zapatas observadas	8 zapatas
Área de losa (e -30 cm) demolida en las zapatas observadas	32 m^2
Volumen de excavación observado	83,2 m^3
Condición del terreno	Terreno compacto con apoyo previo de excavadora mecánica

El proceso de cimentación inició con la demolición de la losa (e -30 cm) existente. Para esta actividad se conformó una cuadrilla de dos ayudantes. El primer trabajador se encargó principalmente de operar el taladro percutor eléctrico para fracturar la losa (e -30 cm), mientras que el segundo trabajador realizó el retiro de fragmentos mediante pala plana y carretilla metálica. El escombro generado fue depositado fuera del área de construcción para su posterior disposición (ver Tabla 17).

Tabla 17

Caracterización de la Cuadrilla 1 — Demolición de losa (e -30 cm) de concreto

Componente	Descripción
Actividad	Demolición de losa (e -30 cm) de concreto preexistente
Número de trabajadores	2 ayudantes
Herramienta principal	Taladro percutor eléctrico
Herramientas auxiliares	Pala plana y carretilla metálica
Área demolida observada	32 m²
Área total asociada al proyecto	124 m²
Destino de escombros	Área externa para posterior disposición
Unidad de medición	m² de losa (e -30 cm) demolida

Posteriormente, se ejecutó la excavación manual de las zapatas de cimentación mediante una cuadrilla conformada por cuatro ayudantes. Para el desarrollo de esta actividad se utilizaron herramientas como pico, pala, carretilla y metro, empleadas para remover el suelo, extraer el material excavado, transportarlo hasta el sitio de almacenamiento temporal y verificar las dimensiones de cada excavación.

Debido al alto nivel de compactación del terreno, fue necesario utilizar una excavadora mecánica para realizar el aflojamiento previo del suelo. Esta intervención facilitó la remoción manual del material y permitió que los ayudantes continuaran con la excavación, el perfilado y la verificación de las zapatas hasta alcanzar las dimensiones y profundidades establecidas en los planos del proyecto (ver Tabla 18).

Tabla 18

Caracterización de la Cuadrilla 2 — Excavación manual de zapatas

Componente	**Descripción**
Actividad	Excavación manual de zapatas de cimentación
Número de trabajadores	4 ayudantes
Apoyo mecánico	Excavadora mecánica para ablandamiento previo del terreno

Componente	Descripción
Herramientas manuales	Pico, pala, carretilla y metro
Dimensiones por zapata	2,0 m × 2,0 m × 2,6 m
Volumen por zapata	10,4 m³
Zapatas observadas	8 zapatas
Volumen observado	83,2 m³
Destino del material excavado	Depósito temporal cercano para uso posterior como relleno
Unidad de medición	m³ de excavación

Desde el punto de vista técnico, el proceso de excavación exigió control permanente de profundidad, longitud, ancho y verticalidad de las paredes de cada zapata. La geometría de diseño correspondió a 2,0 m de largo, 2,0 m de ancho y 2,6 m de profundidad, por lo que cada unidad de cimentación representó un volumen de 10,4 m³. En total, el proyecto contempló 31 zapatas, equivalentes a 322,4 m³ de excavación; sin embargo, para la evaluación de productividad se tomaron 8 zapatas, equivalentes a 83,2 m³ (ver Tabla 19).

Tabla 19

Cantidades de obra asociadas al proceso observado

Actividad	Unidad	Cantidad por zapata	Cantidad observada	Cantidad total del proyecto
Demolición de losa (e -30 cm)	m²	4,0 m²	32,0 m²	124,0 m²
Excavación manual de zapatas	m³	10,4 m³	83,2 m³	322,4 m³

En cuanto al manejo de materiales y residuos, la demolición de la losa (e -30 cm) generó fragmentos de concreto que debieron retirarse del área de intervención para mantener despejado el frente de trabajo. En la actividad de excavación, el material extraído se depositó temporalmente cerca de las zapatas, debido a que sería reutilizado posteriormente en labores de relleno, por lo que no se clasificó como desperdicio físico.

Sin embargo, desde el enfoque de Lean Construction se identificaron diferentes pérdidas asociadas al uso del tiempo, entre ellas las esperas y los periodos de inactividad ocasionados por la falta de coordinación con la excavadora, los desplazamientos improductivos, el alistamiento tardío de las herramientas y los reprocesos generados por la verificación tardía de las cotas. Estas situaciones no implicaron necesariamente una pérdida directa de materiales, pero sí redujeron el tiempo disponible para la ejecución efectiva de las actividades y afectaron el rendimiento de las cuadrillas (ver Tabla 20).

Tabla 20

Herramientas, equipos y función dentro del proceso

Actividad	Herramienta o equipo	Uso dentro del proceso	Responsable principal
Demolición de losa (e -30 cm)	Taladro percutor eléctrico	Fracturar y perforar la losa (e -30 cm) existente	Ayudante 1
Demolición de losa (e -30 cm)	Pala plana	Recoger fragmentos de concreto	Ayudante 2
Demolición de losa (e -30 cm)	Carretilla metálica	Retirar escombros fuera del área	Ayudante 2
Excavación manual	Excavadora mecánica	Ablandar terreno compacto	Operador de maquinaria
Excavación manual	Pico	Remover tierra compacta	Ayudantes
Excavación manual	Pala	Extraer material excavado	Ayudantes
Excavación manual	Carretilla	Transportar material hacia depósito temporal	Ayudantes
Excavación manual	Metro	Verificar dimensiones y cotas	Maestro y ayudantes

Para efectos del análisis de recorridos, se consideraron distancias promedio coherentes con la distribución operativa del frente de cimentación. En la demolición, la distancia entre el área de losa (e -30 cm) y el punto de disposición temporal de escombros fue de 18 m. En la excavación manual, la distancia promedio entre la zapata y el depósito temporal de material fue

de 12 m. La bodega provisional de herramientas se ubicó aproximadamente a 20 m del frente de trabajo y la excavadora operó en un radio variable entre 4 m y 8 m respecto a las zapatas intervenidas (ver Tabla 21).

Tabla 21

Distancias de transporte y desplazamiento consideradas

Recorrido	Distancia promedio	Incidencia en el proceso
Frente de demolición al punto de escombros	18 m	Aumenta tiempos de transporte y retiro de fragmentos
Zapata al depósito temporal de material excavado	12 m	Incide en el tiempo de cargue y descargue de carretilla
Bodega provisional de herramientas al frente	20 m	Puede generar búsquedas y alistamientos improductivos
Excavadora al frente de zapata	4 m a 8 m	Condiciona la coordinación entre maquinaria y cuadrilla manual

4.2.2 Muestreo de trabajo y levantamiento del proceso

Para medir la productividad de las cuadrillas se aplicó el muestreo de trabajo, también conocido como técnica de los cinco minutos. Este procedimiento consistió en registrar, a intervalos regulares de cinco minutos, la actividad desarrollada por cada trabajador y clasificarla en una de las siguientes categorías: Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributivo (TC) y Trabajo No Contributivo (TNC). Esta clasificación permitió establecer la distribución del tiempo laboral e identificar las actividades que aportaban directamente a la ejecución, aquellas necesarias como apoyo y las que representaban pérdidas de productividad.

La observación se llevó a cabo durante cuatro jornadas, con ocho horas efectivas de seguimiento por día. En cada jornada se evaluaron seis trabajadores: dos pertenecientes a la cuadrilla encargada de la demolición de la losa (e -30 cm) y cuatro integrantes de la cuadrilla de

excavación manual de zapatas. Teniendo en cuenta que los registros se realizaron cada cinco minutos, se obtuvieron 96 observaciones por trabajador durante cada jornada y 384 observaciones individuales al finalizar los cuatro días de seguimiento. Esto se debe a que, gracias a lo expuesto por Serpell Bley (2002) para estudios de productividad, se obtuvo que la muestra necesaria para el caso de estudio debe ser de 384 observaciones por obrero, por lo cual este lapso de cuatro jornadas brinda la cantidad necesaria de datos para el posterior análisis de resultados. En total, el proceso de medición generó 2.304 observaciones, las cuales constituyeron la base para calcular los porcentajes de Trabajo Productivo, Trabajo Contributivo y Trabajo No Contributivo de cada trabajador y de las respectivas cuadrillas (ver Tabla 22).

Tabla 22

Jornadas de observación realizadas

Jornada	Fecha	Actividad observada	Trabajadores observados	Observaciones por trabajador	Total de observaciones
1	25 de mayo de 2026	Demolición de losa (e -30 cm) y excavación manual de zapatas	6	96	576
2	26 de mayo de 2026	Demolición de losa (e -30 cm) y excavación manual de zapatas	6	96	576
3	27 de mayo de 2026	Demolición de losa (e -30 cm) y excavación manual de zapatas	6	96	576
4	29 de mayo de 2026	Demolición de losa (e -30 cm) y excavación manual de zapatas	6	96	576
Total	25 al 29 de mayo de 2026	—	6	384	2.304

Las actividades observadas se clasificaron según su aporte al proceso constructivo. El

Trabajo Productivo correspondió a labores que generaron avance directo y medible en la obra; el Trabajo Contributivo correspondió a labores necesarias para permitir el avance, pero que no transformaron directamente el producto final; y el Trabajo No Contributivo correspondió a tiempos sin aporte al proceso, asociados a esperas, desplazamientos innecesarios o inactividad (ver Tabla 23).

Tabla 23

Clasificación de actividades TP, TC y TNC

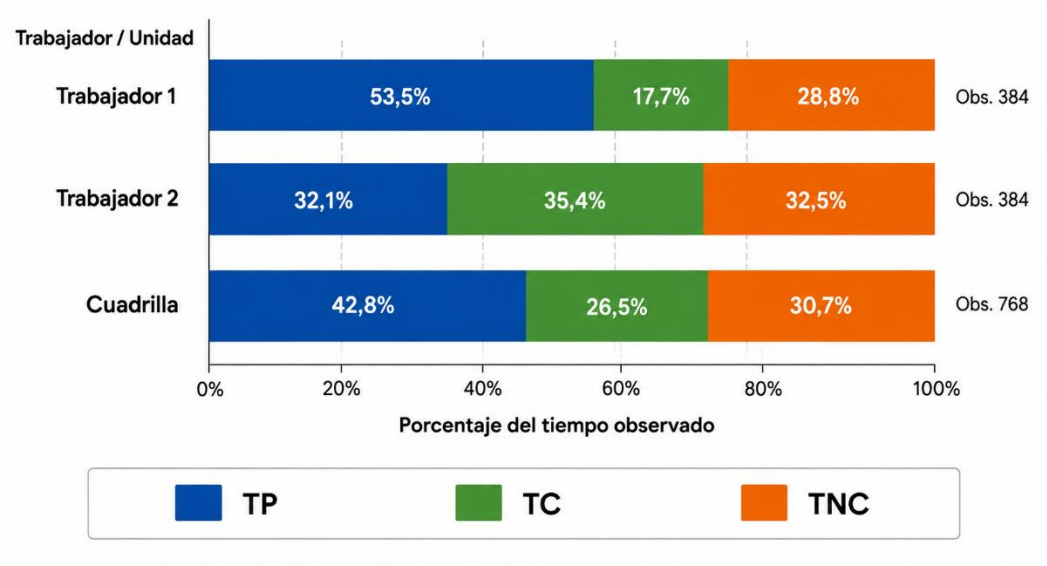
Categoría	Código	Actividades observadas
Trabajo Productivo	TP	Demoler con taladro, excavar con pico, retirar tierra con pala, cargar carretilla con material
Trabajo Contributivo	TC	Descargar carretilla, recibir instrucciones, medir cotas, limpiar el área, organizar herramientas, preparar frente
Trabajo No Contributivo	TNC	Esperar operación de excavadora, caminar sin propósito, tiempo ocioso, descanso no programado, conversaciones no relacionadas

4.2.2.1. Resultados del muestreo en la cuadrilla de demolición de losa (e -30 cm)

La cuadrilla de demolición estuvo integrada por dos ayudantes. El Trabajador 1 se concentró en la operación del taladro percutor, mientras que el Trabajador 2 apoyó el retiro de fragmentos, cargue y traslado de escombros. Los resultados evidencian diferencias importantes entre ambos integrantes, especialmente en el porcentaje de Trabajo Productivo.

Figura 1

Resultados del muestreo de trabajo — Demolición de losa (e -30 cm)



Los resultados muestran que la cuadrilla de demolición alcanzó un 42,8% de Trabajo Productivo, un 26,5% de Trabajo Contributivo y un 30,7% de Trabajo No Contributivo. El Trabajador 1 presentó un 53,5% de TP, asociado a la operación continua del taladro percutor, mientras que el Trabajador 2 alcanzó un 32,1% de TP, debido a que su participación dependía del volumen de fragmentos disponibles para retirar. Esta diferencia evidencia un desequilibrio en la asignación de tareas, lo que genera subutilización parcial del segundo trabajador y aumento de tiempos no productivos.

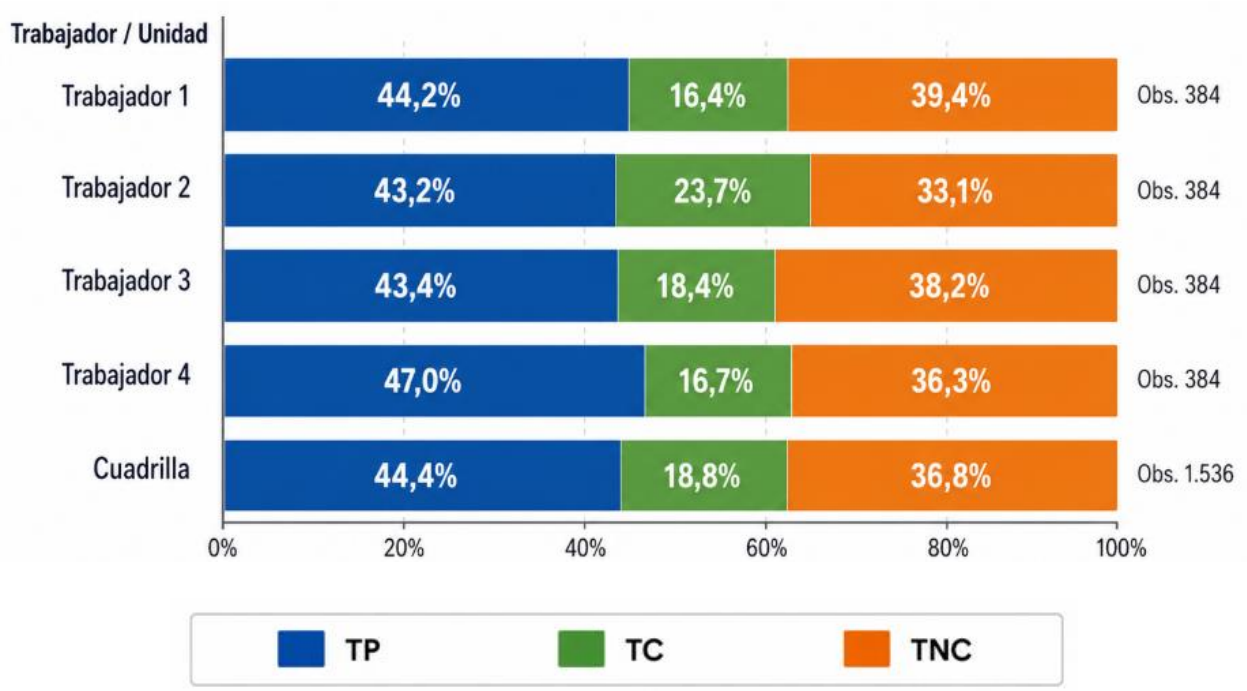
4.2.2.2. Resultados del muestreo en la cuadrilla de excavación manual

La cuadrilla de excavación manual estuvo conformada por cuatro ayudantes. Sus actividades principales fueron remover terreno con pico, extraer material con pala, cargar carretilla, transportar tierra al depósito temporal y verificar dimensiones con apoyo del maestro.

La excavadora mecánica participó en el ablandamiento del terreno compacto antes de la intervención manual.

Figura 2

Resultados del muestreo de trabajo — Excavación manual de zapatas



La excavación manual registró un 44,4% de Trabajo Productivo, un 18,8% de Trabajo Contributivo y un 36,8% de Trabajo No Contributivo. Aunque los cuatro trabajadores presentan porcentajes de TP relativamente cercanos, el TNC es elevado en todos los casos. Esto indica que la pérdida principal no se origina en un trabajador específico, sino en la secuencia general del proceso, especialmente en los periodos de espera mientras la excavadora mecánica realiza el ablandamiento del terreno.

Se logra apreciar en ambas actividades valores superiores de productividad a la media nacional, sin embargo, estos no superan los datos obtenidos en el estudio de Angarita et al.,

(2018), por tanto, es importante mencionar que aunque se presenta una tendencia de mayor trabajo productivo en el municipio aún existe una brecha de conocimiento puesto que ambas investigaciones se centran en actividades diferentes y expone la necesidad de realizar estudios en donde se estandarice la productividad general de Ocaña, Norte de Santander, ya que en los estudios realizados se trabajan con casos particulares que dificultan la tendencia real de productividad de la cuadrilla en la región.

4.2.2.3. Cálculo del rendimiento y tiempo de ciclo real

En la demolición de losa (e -30 cm) se ejecutaron 32 m² durante cuatro jornadas. La cuadrilla estuvo compuesta por dos trabajadores y trabajó 32 horas-cuadrilla efectivas. Por tanto, la productividad real se calculó de la siguiente manera:

Productividad real = Cantidad ejecutada / Horas-cuadrilla

Productividad real = 32 m² / 32 h

Productividad real = 1,00 m²/h-cuadrilla

El consumo de mano de obra fue:

Consumo de mano de obra = Horas-hombre / Cantidad ejecutada

Consumo de mano de obra = 64 h-h / 32 m²

Consumo de mano de obra = 2,00 h-h/m²

El Tiempo de Ciclo Real fue:

TCR = Tiempo disponible / Cantidad ejecutada

TCR = 32 h / 32 m²

TCR = 1,00 h/m²

TCR = 60 min/m²

En la excavación manual se tomaron como referencia 8 zapatas de 10,4 m³ cada una, para un volumen total observado de 83,2 m³. El rendimiento unitario por trabajador se estableció en 2,6 m³/día/trabajador. Con una cuadrilla de cuatro trabajadores, el rendimiento diario de la cuadrilla fue:

Productividad diaria = 2,6 m³/día/trabajador × 4 trabajadores

Productividad diaria = 10,4 m³/día

Este rendimiento equivale a una zapata por día. Para una jornada efectiva de ocho horas, el Tiempo de Ciclo Real por metro cúbico fue:

TCR = 8 h / 10,4 m³

TCR = 0,769 h/m³

TCR = 46,2 min/m³

El consumo de mano de obra fue:

Consumo de mano de obra = 4 trabajadores × 8 h / 10,4 m³

Consumo de mano de obra = 32 h-h / 10,4 m³

Consumo de mano de obra = 3,08 h-h/m³

Tabla 24

Indicadores de rendimiento y TCR

Actividad	Cuadrilla	Unidad	Productividad	Consumo de mano de obra	TCR
Demolición de losa (e -30 cm)	2 ayudantes	m²	1,00 m²/h-cuadrilla	2,00 h-h/m²	60,0 min/m²
Excavación manual de zapatas	4 ayudantes	m³	10,4 m³/día-cuadrilla	3,08 h-h/m³	46,2 min/m³

Estos resultados constituyen la línea base de productividad. En demolición, el rendimiento depende de la continuidad en el uso del taladro y del retiro oportuno de fragmentos.

En excavación manual, el rendimiento está condicionado por la coordinación entre excavadora y cuadrilla, la disponibilidad de herramientas, la secuencia de zapatas y el control oportuno de dimensiones.

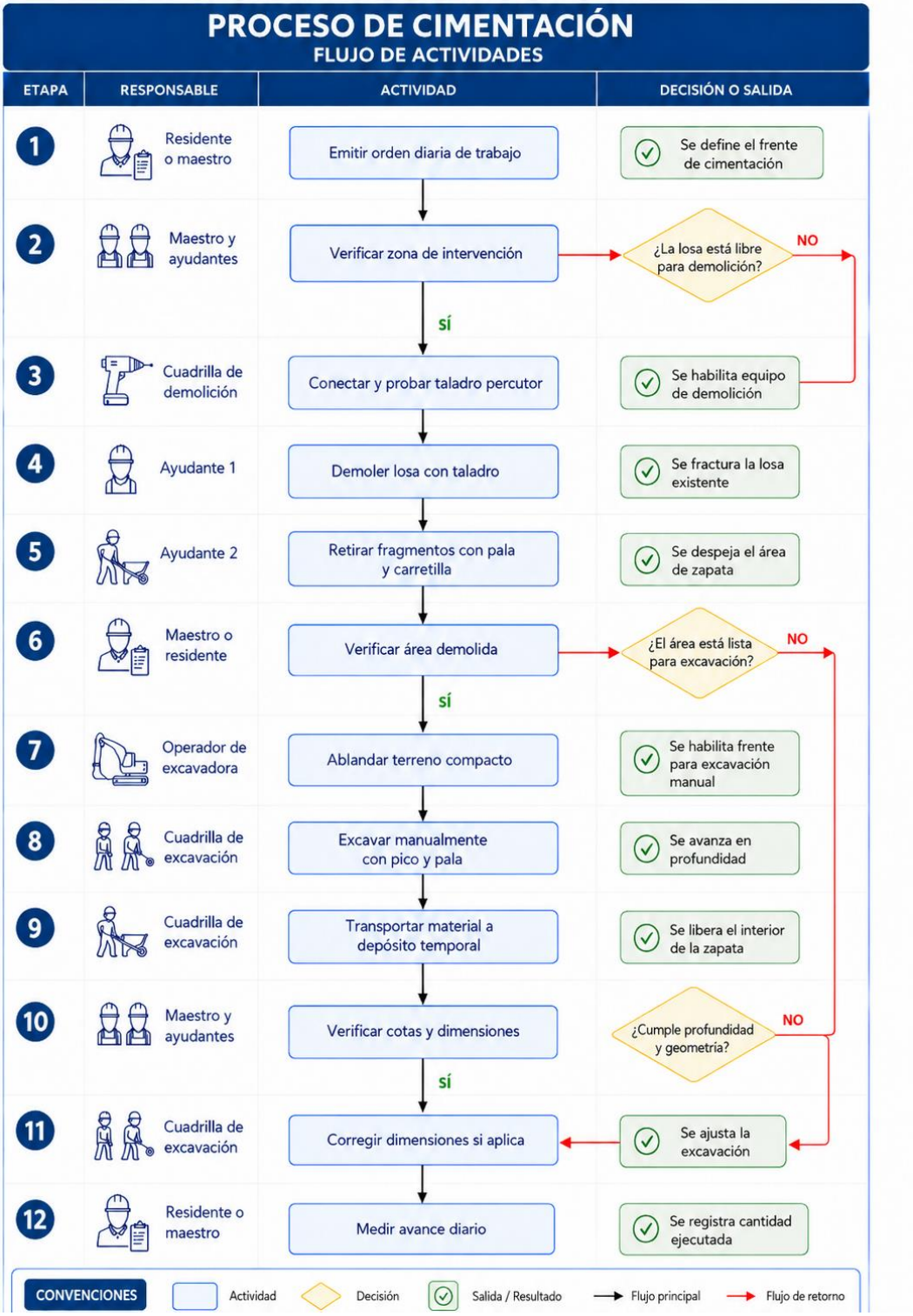
4.2.2.4. Modelo BPMN 2.0 del proceso constructivo

El levantamiento del proceso permitió estructurar una secuencia bajo la notación BPMN 2.0, mediante la cual se representan las principales actividades, los responsables involucrados y los puntos de decisión que intervienen durante la ejecución. El proceso inicia con la emisión de la orden diaria de trabajo y continúa con la verificación y liberación del frente, la demolición de la losa (e -30 cm) , el retiro de los escombros, el ablandamiento del terreno con apoyo de la excavadora, la excavación manual, la comprobación de las cotas y dimensiones y, finalmente, el registro diario de las cantidades ejecutadas.

La modelación del proceso permitió identificar tres puntos críticos de control: la liberación del área antes de iniciar la demolición, la disponibilidad oportuna del terreno previamente ablandado por la excavadora y la verificación geométrica de las zapatas. Cuando alguno de estos controles no se realiza en el momento requerido, se interrumpe la continuidad del flujo de trabajo y se generan esperas, periodos de inactividad o reprocesos. Por esta razón, dichos puntos deben coordinarse previamente y contar con responsables definidos, de manera que las cuadrillas puedan avanzar de forma continua y se reduzcan las pérdidas de productividad.

Figura 3

Secuencia BPMN 2.0 del proceso de cimentación



4.2.3 Análisis de Pareto y VSM actual

Con los resultados del muestreo se aplicó el análisis de Pareto por categorías de productividad. Este análisis permite identificar las categorías que concentran el mayor porcentaje de tiempo y priorizar las acciones de mejora. Para el caso evaluado, el Trabajo No Contributivo representa una proporción importante tanto en demolición como en excavación, por lo que constituye el principal foco de intervención desde Lean Construction.

4.2.3.1. Pareto de categorías en demolición de losa (e -30 cm)

En la demolición de losa (e -30 cm) , el Trabajo Productivo representa el 42,8% del tiempo observado. El Trabajo No Contributivo alcanza el 30,7%, lo cual evidencia una pérdida significativa asociada al desequilibrio entre los dos trabajadores. El Trabajo Contributivo corresponde al 26,5% y se relaciona principalmente con retiro de fragmentos, limpieza, desplazamientos y apoyo a la actividad principal (ver Tabla 25).

Tabla 25

Pareto de categorías — Demolición de losa (e -30 cm)

Categoría	Porcentaje observado	Porcentaje acumulado
Trabajo Productivo	42,8%	42,8%
Trabajo No Contributivo	30,7%	73,5%
Trabajo Contributivo	26,5%	100,0%

La lectura del Pareto indica que el TP y el TNC concentran el 73,5% del tiempo. Por tanto, la mejora debe orientarse a conservar y aumentar la continuidad del trabajo productivo, reduciendo al mismo tiempo las esperas y la subutilización del segundo trabajador.

4.2.3.2. Pareto de categorías en excavación manual de zapatas

En excavación manual, el Trabajo Productivo representa el 44,4%, mientras que el Trabajo No Contributivo alcanza el 36,8%. Estos dos componentes acumulan el 81,2% del tiempo total observado, lo que permite identificar que la reducción del TNC es la acción prioritaria para mejorar la productividad del proceso. La causa principal de esta pérdida se relaciona con esperas de la cuadrilla manual durante la operación de la excavadora mecánica (ver Tabla 26).

Tabla 26

Pareto de categorías — Excavación manual de zapatas

Categoría	Porcentaje observado	Porcentaje acumulado
Trabajo Productivo	44,4%	44,4%
Trabajo No Contributivo	36,8%	81,2%
Trabajo Contributivo	18,8%	100,0%

4.2.3.3. VSM actual — Demolición de losa (e -30 cm)

El Mapa de Flujo de Valor actual de la demolición de losa (e -30 cm) muestra un proceso lineal compuesto por alistamiento del equipo, fractura de la losa (e -30 cm) , retiro de fragmentos, transporte de escombros y liberación del área. La principal pérdida se genera cuando el retiro de escombros no se realiza de manera simultánea con la demolición, lo que ocasiona esperas, acumulación de material y subutilización parcial del segundo trabajador (ver Tabla 27).

Tabla 27

VSM actual — Demolición de losa (e -30 cm)

Etapa	Tipo de trabajo	Situación observada	Fuente de pérdida
Orden diaria de trabajo	TC	Se define el área a demoler	Instrucciones generales sin asignación detallada de roles
Conexión y prueba del taladro	TC / TNC	Se prepara el equipo de demolición	Espera al inicio de jornada
Demolición con taladro	TP	El Trabajador 1 fractura la losa (e -30 cm)	Actividad principal de valor
Retiro de fragmentos	TP / TC	El Trabajador 2 recoge y transporta escombros	Subutilización cuando no hay fragmentos suficientes
Transporte de escombros	TC	Se retira material fuera del área	Recorridos de 18 m por ciclo
Esperas y desbalance	TNC	Un trabajador espera mientras el otro ejecuta	Desequilibrio de tareas
Cierre del área demolida	TC	Se libera la zona para excavación	Depende de limpieza completa del frente

El estado actual muestra que la cuadrilla de demolición no requiere necesariamente más personal, sino una redistribución más eficiente de funciones. La pérdida principal se origina por falta de simultaneidad entre fractura de losa (e -30 cm) y retiro de escombros.

4.2.3.4. VSM actual — Excavación manual de zapatas

El VSM actual de excavación manual evidencia una dependencia directa entre el apoyo mecánico y el avance de la cuadrilla. Cuando la excavadora ablanda el mismo frente donde se encuentra la cuadrilla, los ayudantes permanecen inactivos o se desplazan sin aportar al avance de la excavación. Esta condición explica el alto porcentaje de Trabajo No Contributivo (ver Tabla 28).

Tabla 28

VSM actual — Excavación manual de zapatas

Etapa	Tipo de trabajo	Situación observada	Fuente de pérdida
Orden diaria y selección de zapata	TC	Se define frente de trabajo	Falta de secuencia detallada
Ablandamiento con excavadora	TNC para la cuadrilla manual	La excavadora interviene el terreno compacto	Trabajadores manuales esperan
Excavación con pico y pala	TP	Los ayudantes remueven y extraen material	Actividad directa de valor
Cargue y transporte en carretilla	TP / TC	Se retira material hacia depósito cercano	Recorridos de 12 m por ciclo
Verificación de cotas	TC	Se mide profundidad y dimensiones	Medición concentrada al final
Correcciones de dimensiones	TC / TNC	Se ajusta si la cota no cumple	Reproceso por verificación tardía
Cierre de avance diario	TC	Se registra cantidad ejecutada	Requiere medición final

El estado actual demuestra que la pérdida más importante se relaciona con la falta de trabajo en paralelo. La excavadora y la cuadrilla manual deben operar sobre frentes distintos dentro de una misma secuencia, evitando que los trabajadores esperen mientras la maquinaria realiza el ablandamiento.

4.2.3.5. Comparación entre estado actual y referencia Lean

Para establecer una meta de mejora, se plantea como referencia un Trabajo Productivo futuro mayor al 50% y un Trabajo No Contributivo tolerable no menor que el 15,0%, ya que estos son valores de referencia reportados en la literatura de Lean Construction, especialmente en estudios latinoamericanos, que sirven como meta de mejora del estado futuro; no constituyen una norma técnica internacional vinculante . Estos valores permiten evaluar la brecha existente entre el estado actual y el estado futuro esperado (ver Tabla 29).

Tabla 29

Comparación de indicadores actuales frente a referencia Lean

Actividad	TP actual	TP esperado	Diferencia TP	TNC actual	TNC esperado	Diferencia TNC
Demolición de losa (e -30 cm)	42,8%	57,0%	-14,2 p.p.	30,7%	15,0%	+15,7 p.p.
Excavación manual	44,4%	57,0%	-12,6 p.p.	36,8%	15,0%	+21,8 p.p.

La excavación manual presenta la condición más crítica en Trabajo No Contributivo, con una diferencia de 21,8 puntos porcentuales frente al valor esperado. En demolición, el TNC supera en 15,7 puntos porcentuales la referencia definida. Estos resultados justifican la aplicación de mejoras Kaizen orientadas a reducir esperas, equilibrar funciones, programar frentes y controlar de manera más continua las dimensiones de excavación.

4.3 Establecer la composición óptima de cuadrilla para el proceso constructivo objeto de estudio, a partir de los indicadores de productividad y costo obtenidos en la fase evaluativa, como referencia técnica para la asignación eficiente del personal en las empresas constructoras de Ocaña, Norte de Santander.

La tercera fase se orienta a determinar la composición óptima de las cuadrillas mediante un modelo de programación lineal con restricciones, utilizando como parámetros los tiempos de ciclo obtenidos a partir del muestreo de trabajo, los tiempos optimizados definidos en el VSM futuro y los costos reales de la mano de obra registrados en el proyecto. A partir de esta información, el modelo considera como variables de decisión el número de oficiales y ayudantes requeridos para cada actividad, con el propósito de minimizar el costo de la mano de obra sin afectar el cumplimiento de las condiciones de productividad mínima, plazo de ejecución, balance

de cargas e integralidad de las variables.

Para resolver el modelo se emplea Microsoft Excel Solver, herramienta con la cual se analizan diferentes escenarios de conformación de cuadrillas y se comparan, para cada alternativa, la productividad esperada, el tiempo de ejecución y el costo asociado; de esta manera, se selecciona la configuración que cumple las restricciones establecidas y ofrece el mejor desempeño técnico y económico. Finalmente, se realiza una evaluación económica de la alternativa seleccionada y se compara la contratación directa con la modalidad de subcontrato, con el fin de determinar cuál resulta más conveniente de acuerdo con las condiciones reales del proyecto y del sector constructor de Ocaña.

4.3.1 Consolidación de los parámetros del modelo

Antes de formular el modelo matemático se verificó la correspondencia entre las cantidades ejecutadas, los rendimientos, los tiempos y los costos. En la demolición de losa (e -30 cm) se registró una productividad de 1,00 m² por hora-cuadrilla con dos ayudantes, equivalente a un consumo de 2,00 horas-hombre por metro cuadrado y un tiempo de ciclo de 60 minutos por metro cuadrado.

En la excavación manual se adoptó un rendimiento de 2,60 m³ por día para cada trabajador. Con una cuadrilla de cuatro ayudantes, la productividad diaria actual se calculó así:

$P_{actual} = 2{,}60\ m^3/día/trabajador \times 4\ trabajadores$

$P_{actual} = 10{,}40\ m^3/día$

Este rendimiento equivale a la excavación manual de una zapata de 10,40 m³ por jornada laboral. El tiempo de ciclo actual por metro cúbico corresponde a:

$TCR_{actual} = 8\ horas / 10{,}40\ m^3$

TCR_actual = 0,769 horas/m³

TCR_actual = 46,2 minutos/m³

El consumo de mano de obra se calculó mediante la relación entre las horas-hombre empleadas y el volumen producido:

Consumo de mano de obra = (4 trabajadores × 8 horas) / 10,40 m³

Consumo de mano de obra = 3,08 horas-hombre/m³

La Tabla 30 presenta los parámetros consolidados empleados para la formulación y evaluación de los modelos.

Tabla 30

Parámetros técnicos y económicos consolidados

Parámetro	Demolición de losa (e - 30 cm)	Excavación manual
Cantidad total del proyecto	124 m²	322,40 m³
Cantidad de referencia evaluada	32 m²	83,20 m³
Composición actual	2 ayudantes	4 ayudantes
Productividad actual	1,00 m²/h	10,40 m³/día
Rendimiento individual actual	0,50 m²/h	2,60 m³/día
Tiempo de ciclo actual	60,0 min/m²	46,2 min/m³
Trabajo Productivo actual	42,8 %	44,4 %
Trabajo Contributivo actual	26,5 %	18,8 %
Trabajo No Contributivo actual	30,7 %	36,8 %
Costo diario por ayudante	$72.000	$72.000
Costo-hora por ayudante	$9.000/h	$9.000/h
Costo diario de la cuadrilla actual	$144.000	$288.000

En la excavación manual, las cuatro jornadas de muestreo se emplearon para determinar estadísticamente la distribución de TP, TC y TNC. Sin embargo, para el cálculo del costo unitario se mantuvo la correspondencia con el rendimiento de 10,40 m³ por día. En consecuencia, la producción de 83,20 m³ requiere ocho jornadas equivalentes, ya que:

Duración = 83,20 m³ / 10,40 m³/día

Duración = 8 días

Este ajuste evita dividir el costo de cuatro jornadas entre una cantidad que, de acuerdo con el rendimiento medido, requiere ocho días de producción.

4.3.2 VSM futuro y acciones de mejora

A partir de las pérdidas identificadas en el VSM actual se diseñó un estado futuro que busca incrementar la continuidad del Trabajo Productivo y reducir las esperas, los desplazamientos innecesarios, el alistamiento de herramientas durante la jornada y los reprocesos por control tardío de dimensiones. Las mejoras se estructuraron mediante seis estallidos Kaizen directamente relacionados con las situaciones observadas en el proyecto (ver Tabla 31).

Tabla 31

Estallidos Kaizen propuestos para el VSM futuro

Código	Mejora Kaizen	Aplicación en el proyecto	Efecto esperado
K1	Asignación de roles fijos	Un ayudante opera el taladro y el segundo retira escombros simultáneamente	Reducir el desequilibrio entre trabajadores
K2	Coordinación paralela entre maquinaria y cuadrilla	La excavadora prepara la zapata N+1 mientras la cuadrilla excava la zapata N	Reducir las esperas por intervención mecánica
K3	Verificación continua de cotas	Medición de profundidad y dimensiones cada 30 cm de avance	Evitar reprocesos y correcciones finales
K4	Pausas programadas	Establecer horarios definidos para hidratación y recuperación física	Reducir pausas dispersas no controladas
K5	Herramientas listas en el frente	Disponer taladro, picos, palas, carretillas y elementos de medición antes de iniciar	Reducir búsqueda y alistamiento improductivo

Código	Mejora Kaizen	Aplicación en el proyecto	Efecto esperado
K6	Planificación de la secuencia de zapatas	Definir diariamente el orden de intervención y coordinarlo con la excavadora	Mantener el trabajo paralelo y la continuidad

4.3.3 VSM futuro de la demolición de losa (e -30 cm)

En el estado futuro de la demolición se conserva la cuadrilla de dos ayudantes, debido a que la actividad dispone de un solo taladro percutor y un frente principal de intervención. La mejora no consiste en aumentar el número de trabajadores, sino en definir funciones simultáneas que permitan aprovechar de forma más equilibrada la jornada.

El primer ayudante mantiene la operación continua del taladro, mientras que el segundo realiza el retiro progresivo de los fragmentos, el cargue de la carretilla y la limpieza del área. De esta forma se evita acumular escombros hasta el final de la demolición y se reduce la subutilización del segundo integrante (ver Tabla 32).

Tabla 32

VSM futuro de la demolición de losa (e -30 cm)

Etapa	Estado actual	Mejora propuesta	Estado futuro esperado
Inicio de jornada	Conexión y prueba del taladro durante el horario productivo	Equipo instalado y probado antes de iniciar	Menor tiempo de alistamiento
Demolición	Un trabajador concentra la operación productiva	Rol fijo de operación del taladro	Mayor continuidad del TP
Retiro de fragmentos	Acumulación de escombros durante el ciclo	Retiro simultáneo	Menor espera y obstrucción
Asignación de tareas	Funciones definidas durante la ejecución	Distribución previa de responsabilidades	Menor confusión operativa
Cierre del frente	Limpieza al finalizar la demolición	Limpieza progresiva	Liberación más rápida del frente

La proyección del VSM futuro establece un incremento del Trabajo Productivo desde 42,8 % hasta 57,0 % y una reducción del Trabajo No Contributivo desde 30,7 % hasta 15,0 %. Estos porcentajes son valores proyectados mediante los estándares que menciona Lean y no corresponden a una medición experimental en campo; representan una estimación del estado futuro esperado si se aplican las acciones Kaizen propuestas; corresponden a resultados esperados después de aplicar las mejoras propuestas y no a una segunda medición en campo.

El factor de mejora se calculó mediante la relación entre el Trabajo Productivo futuro y el Trabajo Productivo actual:

$F_{md} = TP\ futuro / TP\ actual$

$F_{md} = 0{,}570 / 0{,}428$

$F_{md} = 1{,}332$

La productividad futura esperada de la cuadrilla se calculó así:

$P_{futura} = 1{,}00\ m^2/h \times 1{,}332$

$P_{futura} = 1{,}332\ m^2/h\text{-cuadrilla}$

El nuevo tiempo de ciclo estimado corresponde a:

$TCR_{futuro} = 60\ min/m^2 / 1{,}332$

$TCR_{futuro} = 45{,}1\ min/m^2$

La aplicación de los roles fijos y el retiro simultáneo de escombros permitiría reducir el tiempo de ciclo en 14,9 minutos por metro cuadrado, equivalente al 24,9 %.

4.3.4 VSM futuro de la excavación manual de zapatas

En la excavación manual, la principal pérdida se relacionó con la espera de los ayudantes mientras la excavadora efectuaba el ablandamiento inicial del terreno. En el estado futuro se

propone desarrollar ambas operaciones de manera paralela. Mientras la cuadrilla manual trabaja en una zapata previamente ablandada, la excavadora interviene en la zapata siguiente. También se incorpora la verificación de profundidad, longitud y ancho cada 30 cm de avance, con el propósito de detectar oportunamente desviaciones y evitar correcciones al final del ciclo (ver Tabla 33).

Tabla 33

VSM futuro de la excavación manual de zapatas

Etapa	Estado actual	Mejora propuesta	Estado futuro esperado
Selección de la zapata	Secuencia no siempre definida	Plan diario de ataque	Menor espera por instrucciones
Ablandamiento mecánico	La cuadrilla espera la excavadora	Excavadora prepara la zapata N+1	Trabajo paralelo
Excavación manual	Inicia después de terminar la maquinaria	Cuadrilla trabaja en la zapata N ya ablandada	Mayor continuidad
Control de cotas	Revisión al finalizar el ciclo	Verificación cada 30 cm	Menor reproceso
Herramientas	Alistamiento durante la jornada	Preparación antes del inicio	Menor TNC
Pausas	Descansos dispersos	Pausas programadas	Reducción de interrupciones no controladas

El Trabajo Productivo futuro se estimó en 57,0 % como valor proyectado, frente al 44,4 % registrado en el estado actual. Este dato no proviene de una segunda medición sino de un supuesto de mejora basado en la aplicación de las acciones Kaizen definidas. El factor de mejora estimado se calculó así:

$$F_{me} = TP\ futuro / TP\ actual$$

$$F_{me} = 0{,}570 / 0{,}444$$

$F_{me} = 1{,}284$

El valor obtenido indica que la productividad puede incrementarse en 28,4 % respecto al estado actual, bajo el supuesto de que se apliquen de manera conjunta y sostenida las acciones kaizen planteadas. Este resultado no constituye un dato experimental, sino una estimación con base en los indicadores observados y las mejores propuestas siempre que se apliquen de manera conjunta las acciones Kaizen planteadas.

El rendimiento futuro por trabajador corresponde a:

$R_{futuro} = 2{,}60\ m^3/día \times 1{,}284$

$R_{futuro} = 3{,}338\ m^3/día/trabajador$

4.3.5 Horario optimizado de trabajo

Para conservar una jornada laboral efectiva de ocho horas, el horario optimizado se estableció entre las 7:00 a. m. y las 4:00 p. m., incluyendo una hora de almuerzo. Las pausas de hidratación y recuperación física se realizan dentro de la jornada y sustituyen las interrupciones dispersas observadas en el estado actual (ver Tabla 34).

Tabla 34

Horario optimizado para demolición y excavación de zapatas

Franja horaria	Actividad programada	Responsable	Propósito
7:00 a. m. – 7:10 a. m.	Reunión diaria corta	Residente, maestro, operador y cuadrillas	Definir frentes, roles y secuencia
7:10 a. m. – 7:20 a. m.	Alistamiento final de herramientas	Ayudantes	Ubicar equipos y herramientas
7:20 a. m. – 9:30 a. m.	Demolición y retiro simultáneo	Cuadrilla de demolición	Evitar acumulaciones y esperas
7:20 a. m. – 9:30 a. m.	Excavadora en zapata N+1 y cuadrilla en zapata N	Operador y cuadrilla manual	Mantener trabajo paralelo

Franja horaria	Actividad programada	Responsable	Propósito
9:30 a. m. – 9:45 a. m.	Pausa de hidratación	Cuadrillas	Recuperación física programada
9:45 a. m. – 11:30 a. m.	Continuación de actividades	Cuadrillas	Mantener el flujo productivo
11:30 a. m. – 12:00 m.	Verificación parcial de cotas y limpieza	Maestro y ayudantes	Evitar reprocesos
12:00 m. – 1:00 p. m.	Almuerzo	Cuadrillas	Descanso
1:00 p. m. – 3:00 p. m.	Segundo ciclo de trabajo paralelo	Operador y cuadrillas	Incrementar continuidad
3:00 p. m. – 3:15 p. m.	Pausa y revisión de herramientas	Cuadrillas	Controlar interrupciones
3:15 p. m. – 3:45 p. m.	Avance final y correcciones puntuales	Cuadrillas	Cerrar los frentes iniciados
3:45 p. m. – 4:00 p. m.	Medición y registro diario	Maestro o residente	Registrar cantidades ejecutadas

La programación permite que el alistamiento, las pausas y la medición de cantidades se realicen en momentos definidos, evitando que estas acciones interrumpan de manera aleatoria el flujo productivo.

4.3.6 Costo-hora y costo por actividad

El costo diario por ayudante se estableció en $72.000, valor que incluye salario, prestaciones y cargas laborales asociadas, esto según lo mencionado por el ingeniero residente de obra del proyecto de estudio, en donde no fue posible obtener mayor información sobre el desglose de los montos específicos de cada aspecto relacionado al salario del trabajador, por lo tanto, es importante mencionar que se toma este como criterio práctico para dar cabida al análisis de costo-hora de cada actividad realizada. Para una jornada efectiva de ocho horas, el costo-hora se calculó así:

Costo-hora por trabajador = $72.000 / 8 horas

Costo-hora por trabajador = $9.000/h

Tabla 35

Costo-hora de las cuadrillas actuales

Cuadrilla	Número de trabajadores	Costo diario por trabajador	Costo diario de la cuadrilla	Costo-hora
Demolición de losa (e -30 cm)	2	$72.000	$144.000	$18.000/h
Excavación manual	4	$72.000	$288.000	$36.000/h

4.3.7 Costo actual de la demolición

Durante las cuatro jornadas observadas en demolición se acumularon 64 horas-hombre y un costo total de $576.000 (ver Tabla 36).

Tabla 36

Distribución del costo por categoría en demolición

Categoría	Porcentaje	Horas-hombre	Costo asociado
Trabajo Productivo	42,8 %	27,39	$246.528
Trabajo Contributivo	26,5 %	16,96	$152.640
Trabajo No Contributivo	30,7 %	19,65	$176.832
Total	100,0 %	64,00	$576.000

Para los 32 m² ejecutados, el costo unitario observado fue:

Costo unitario = $576.000 / 32 m²

Costo unitario = $18.000/m²

4.3.8 Costo actual corregido de la excavación manual

Las cuatro jornadas de muestreo generaron 128 horas-hombre y un costo de $1.152.000.

Esta información se utilizó para establecer la distribución porcentual del costo entre TP, TC y TNC. No obstante, la cantidad de 83,20 m³ equivale a ocho jornadas con la productividad de 10,40 m³/día.

El costo correspondiente a las ocho jornadas es:

Costo total = 8 días × $288.000/día

Costo total = $2.304.000

Tabla 37

Distribución corregida del costo por categoría en excavación

Categoría	Porcentaje	Horas-hombre	Costo asociado
Trabajo Productivo	44,4 %	113,66	$1.022.976
Trabajo Contributivo	18,8 %	48,13	$433.152
Trabajo No Contributivo	36,8 %	94,21	$847.872
Total	100,0 %	256,00	$2.304.000

El costo unitario corregido se calculó así:

Costo unitario = $2.304.000 / 83,20 m³

Costo unitario = $27.692/m³

El valor de $13.846/m³ no se empleó en el modelo, debido a que correspondía a dividir el costo de cuatro jornadas entre una cantidad que, según el rendimiento medido, requiere ocho días de trabajo (ver Tabla 38).

Tabla 38

Costo unitario actual por actividad

Actividad	**Cantidad de referencia**	**Costo de mano de obra**	**Costo unitario**

Demolición de losa (e -30 cm)	32 m²	$576.000	$18.000/m²
Excavación manual de zapatas	83,20 m³	$2.304.000	$27.692/m³

4.3.9 Formulación del modelo matemático

4.3.9.1. Variables de decisión

La formulación metodológica inicial consideró como variables el número de oficiales y ayudantes. Sin embargo, en las cuadrillas estudiadas no se registraron oficiales como integrantes directos de las actividades. En consecuencia, las variables aplicadas fueron:

X_d = número de ayudantes en la cuadrilla de demolición.

X_e = número de ayudantes en la cuadrilla de excavación manual.

X_o = 0 oficiales directos.

Las variables X_d y X_e deben tomar valores enteros positivos.

4.3.9.2. Función de costo

El costo diario de una cuadrilla integrada por X ayudantes se expresa como:

Z = 72.000X

Para demolición:

Z_d = 72.000X_d

Para excavación manual:

Z_e = 72.000X_e

La función permite identificar la configuración de menor costo diario que cumpla las restricciones de productividad, plazo y balance. Posteriormente, las alternativas viables se

comparan según su duración programada y costo total.

4.3.9.3. Optimización de la cuadrilla de demolición

La demolición requiere dos funciones simultáneas: operación del taladro percutor y retiro de escombros. Con un solo trabajador no es posible mantener ambas acciones de manera continua. Asimismo, incorporar un tercer trabajador no resulta conveniente, debido a que se dispone de un solo taladro y un único frente principal.

La productividad futura de 1,332 m²/h-cuadrilla empleada en este modelo es un valor proyectado, no medido. Se obtuvo multiplicando la productividad actual observada en campo (1,00 m²/h) por el factor de mejora estimado por el Factor de mejora F_md = 1,332, el cual se derivó de la meta de Trabajo Productivo del 57,0% establecida en el VSM futuro como porcentaje objetivo. Este parámetro representa una proyección teórica que supone la aplicación efectiva de las acciones Kaizen propuestas.

El modelo se formuló así:

Minimizar:

$Z_d = 72.000X_d$

Sujeto a:

$X_d \geq 2$

$X_d \leq 2$

$X_d \in$ números enteros

La solución obtenida fue:

$X_d = 2$ ayudantes

$Z_d = \$144.000$/día

La cuadrilla óptima de demolición se mantiene en dos integrantes, pero con una distribución fija de funciones.

Para los 124 m² del proyecto, la duración actual es:

$D_{actual} = 124\ m^2 / (1{,}00\ m^2/h \times 8\ h/día)$

$D_{actual} = 15{,}50$ días

Para efectos de programación se requieren 16 jornadas.

La duración futura es:

$D_{futura} = 124\ m^2 / (1{,}332\ m^2/h \times 8\ h/día)$

$D_{futura} = 11{,}64$ días

Para efectos de programación se requieren 12 jornadas.

Tabla 39

Resultados de la optimización de la demolición

Indicador	Estado actual	Estado futuro
Número de ayudantes	2	2
Productividad	1,00 m²/h	1,332 m²/h
Tiempo de ciclo	60,0 min/m²	45,1 min/m²
Duración técnica	15,50 días	11,64 días
Duración programada	16 días	12 días
Costo diario	$144.000	$144.000
Costo programado	$2.304.000	$1.728.000

La propuesta reduce la duración programada en cuatro jornadas y el costo en $576.000, equivalente al 25,0 %. El resultado se obtiene sin aumentar ni reducir el número de trabajadores, sino mediante la asignación equilibrada de funciones y el retiro simultáneo de fragmentos.

4.3.10 Optimización de la cuadrilla de excavación manual

4.3.10.1. Productividad mínima requerida

El proyecto contempla 31 zapatas con un volumen de 10,40 m³ cada una. El volumen total corresponde a:

$Q = 31 \text{ zapatas} \times 10{,}40 \text{ m}^3/\text{zapata}$

$Q = 322{,}40 \text{ m}^3$

La restricción de plazo se estableció en 25 días hábiles. Por tanto, la productividad mínima requerida es:

$P_mínima = 322{,}40 \text{ m}^3 / 25 \text{ días}$

$P_mínima = 12{,}896 \text{ m}^3/\text{día}$

La productividad futura por trabajador de 3,338 m³/día es igualmente un valor proyectado. Se calculó a partir del rendimiento individual medido en campo (2,60 m³/día) multiplicado por el factor de mejora estimado para la excavación $F_me = 1{,}284$, derivado de la meta de Trabajo Productivo del 57,0 % definida en el VSM futuro de la excavación manual. Al igual que en la demolición, este valor no proviene de una segunda medición experimental sino de una estimación basada en los supuestos de mejora Lean planteados.

La productividad futura por trabajador es de 3,338 m³/día, por lo que la productividad esperada de una cuadrilla integrada por X_e trabajadores se expresa como:

$P_e = 3{,}338X_e$

La relación lineal planteada en esta ecuación supone que cada trabajador adicional aporta individualmente el mismo rendimiento proyectado de 3,338 m³/día. Esto supone que se sustenta en que, en las actividades de excavación manual, cada integrante de la cuadrilla ejecuta una

función específica e independiente (remoción, extracción, cargue, transporte o control de cotas), de modo que la incorporación de un trabajador adicional genera un incremento proporcional en la capacidad productiva sin necesidad de redistribuir el trabajo de los demás. Este tipo de modelado lineal es ampliamente empleado en estudios de optimización de cuadrillas en construcción (Botero y Álvarez, 2003; Serpell, 2002) y resulta válido dentro del rango evaluado de cuatro a cinco trabajadores, ya que dicho rango fue previamente delimitado por la restricción de balance de cargas, que considera la capacidad física del frente de excavación para evitar interferencias. Se reconoce, no obstante, que esta linealidad es una aproximación: en cuadrillas de mayor tamaño podrían presentarse efectos de congestión o interferencia que reducirían el aporte marginal de cada trabajador adicional.

La restricción de productividad es:

$3{,}338X_e \geq 12{,}896$

$X_e \geq 3{,}863$

Debido a que el número de trabajadores debe ser entero:

$X_e \geq 4$

4.3.10.2. Restricción de balance de cargas

Las zapatas tienen dimensiones aproximadas de 2,0 m × 2,0 m, lo que limita el número de personas que pueden intervenir simultáneamente sin generar interferencias. La cuadrilla debe contar, como mínimo, con trabajadores para remoción, extracción, cargue, transporte y apoyo al control de cotas.

Por ello se estableció el siguiente rango:

$4 \leq X_e \leq 5$

El límite superior evita extrapolar la productividad a cuadrillas de seis, siete u ocho trabajadores, configuraciones que no fueron observadas y que podrían generar congestión dentro del frente de excavación.

4.3.10.3. Modelo aplicado en Microsoft Excel Solver

El modelo ingresado en Solver fue:

Minimizar:

$Z_e = 72.000X_e$

Sujeto a:

$3{,}338X_e \geq 12{,}896$

$4 \leq X_e \leq 5$

$X_e \in$ números enteros

Tabla 40

Configuración del modelo en Microsoft Excel Solver

Elemento	Expresión
Variable de decisión	X_e
Costo diario	$72.000X_e$
Productividad futura	$3{,}338X_e$
Duración técnica	$322{,}40 / (3{,}338X_e)$
Productividad mínima	12,896 m³/día
Límite inferior	4 ayudantes
Límite superior	5 ayudantes
Condición de integralidad	X_e entero
Método de solución	Simplex LP

Solver identifica cuatro ayudantes como la alternativa de menor costo diario que permite cumplir la productividad mínima. Sin embargo, para seleccionar la composición final también se

comparó el costo total y la duración programada de cada escenario viable (ver Tabla 41).

Tabla 41

Escenarios de composición para excavación manual

Ayudantes	Productividad futura	Duración técnica	Duración programada	Costo diario	Costo total	Cumplimiento
3	10,01 m³/día	32,20 días	33 días	$216.000	$7.128.000	No cumple
4	13,35 m³/día	24,15 días	25 días	$288.000	$7.200.000	Cumple
5	16,69 m³/día	19,32 días	20 días	$360.000	$7.200.000	Cumple

La cuadrilla de tres ayudantes fue descartada porque requiere 33 jornadas y supera el plazo máximo en ocho días. La cuadrilla de cuatro ayudantes cumple el plazo con una programación de 25 jornadas. Por su parte, la cuadrilla de cinco ayudantes completa la actividad en 20 jornadas y mantiene el mismo costo total de $7.200.000.

Es importante precisar que, dado que las configuraciones de cuatro y cinco ayudantes presentan el mismo costo total programado ($7.200.000), la función objetivo del modelo no permite discriminar entre ellas por criterio económico. La selección de cinco ayudantes como composición óptima integral se fundamenta en un criterio adicional de carácter técnico: la reducción de la duración de ejecución de 25 a 20 jornadas. Este criterio no está incorporado formalmente en la función objetivo, sino que opera como un parámetro de decisión complementario que considera el margen operativo frente a variaciones del terreno, interrupciones de la excavadora o ajustes de cotas. En consecuencia, la solución adoptada es la de menor costo entre las viables y, simultáneamente, la de menor duración programada.

En consecuencia, cuatro ayudantes constituyen la solución mínima obtenida por Solver,

mientras que cinco ayudantes representan la solución óptima integral. Esta última composición no incrementa el costo total y reduce la duración en cinco jornadas, proporcionando un margen frente a variaciones del terreno, mantenimiento de herramientas, interrupciones de la excavadora o ajustes de cotas. El rendimiento diario correcto de cinco trabajadores es:

$$P_5 = 3{,}338\ m^3/día/trabajador \times 5\ trabajadores$$

$$P_5 = 16{,}69\ m^3/día$$

Por tanto, el rendimiento de 22,26 m³/día planteado inicialmente se reemplaza por 16,69 m³/día.

4.3.11 Distribución de funciones de la cuadrilla óptima

La cuadrilla seleccionada para excavación manual está integrada por cinco ayudantes, cuyas funciones se distribuyen para evitar la concentración de todos los trabajadores dentro de la zapata (ver Tabla 42).

Tabla 42

Distribución de funciones de la cuadrilla óptima de excavación

Integrante	Función principal	Clasificación esperada
Ayudante 1	Remoción del terreno con pico	Trabajo Productivo
Ayudante 2	Extracción del material con pala	Trabajo Productivo
Ayudante 3	Recepción y cargue del material	Trabajo Productivo
Ayudante 4	Transporte al depósito temporal	Trabajo Productivo y Contributivo
Ayudante 5	Control de cotas, relevo, organización y apoyo al cargue	Trabajo Contributivo y Productivo

El operador de la excavadora no se incluye dentro de la cuadrilla manual. Su función

consiste en preparar la zapata N+1 mientras los cinco ayudantes ejecutan la excavación manual de la zapata N. Esta coordinación constituye el elemento central del trabajo paralelo propuesto en el VSM futuro.

4.3.12 Evaluación económica de la excavación manual

La cuadrilla actual de cuatro ayudantes presenta una productividad de 10,40 m³/día. Para ejecutar los 322,40 m³ se requieren:

D_actual = 322,40 m³ / 10,40 m³/día

D_actual = 31 días

El costo actual es:

C_actual = 31 días × $288.000/día

C_actual = $8.928.000

La cuadrilla optimizada de cinco ayudantes presenta una productividad de 16,69 m³/día y se programa durante 20 jornadas:

C_futuro = 20 días × $360.000/día

C_futuro = $7.200.000

El ahorro corresponde a:

Ahorro = $8.928.000 − $7.200.000

Ahorro = $1.728.000

La reducción porcentual es:

Reducción = ($1.728.000 / $8.928.000) × 100

Reducción = 19,4 %

El costo unitario futuro es:

Costo unitario futuro = $7.200.000 / 322,40 m³

Costo unitario futuro = $22.333/m³

Tabla 43

Comparación económica de la excavación manual

Indicador	Estado actual	Estado optimizado
Número de ayudantes	4	5
Productividad	10,40 m³/día	16,69 m³/día
Duración programada	31 días	20 días
Costo total	$8.928.000	$7.200.000
Costo unitario	$27.692/m³	$22.333/m³
Ahorro	—	$1.728.000
Reducción del costo	—	19,4 %

4.3.13 Resultado económico consolidado

La Tabla 44 presenta la comparación económica de las dos actividades analizadas.

Tabla 44

Comparación consolidada entre el estado actual y el estado optimizado

Actividad	Costo actual programado	Costo optimizado	Ahorro	Reducción
Demolición de losa (e -30 cm)	$2.304.000	$1.728.000	$576.000	25,0 %
Excavación manual	$8.928.000	$7.200.000	$1.728.000	19,4 %
Total	$11.232.000	$8.928.000	$2.304.000	20,5 %

La aplicación conjunta de las mejoras permite proyectar una reducción de $2.304.000, equivalente al 20,5 % del costo programado de mano de obra. Esta disminución no se obtiene mediante la eliminación de puestos de trabajo, sino por la reducción de esperas, la coordinación entre la excavadora y la cuadrilla, el alistamiento previo, la asignación fija de funciones y la disminución de las jornadas requeridas.

4.3.14 Comparación entre contratación directa y subcontrato

La comparación entre contratación directa y subcontrato debe realizarse sobre un alcance equivalente. La tarifa del subcontratista debe especificar si incluye únicamente mano de obra o si incorpora excavadora, herramientas, transporte, retiro de escombros, disposición de material y supervisión.

Debido a que no se dispone de una cotización local verificable con el mismo alcance, se determinaron puntos de equilibrio que pueden utilizarse para evaluar futuras ofertas.

En demolición:

Punto de equilibrio = $1.728.000 / 124 m²

Punto de equilibrio = $13.935/m²

En excavación manual:

Punto de equilibrio = $7.200.000 / 322,40 m³

Punto de equilibrio = $22.333/m³

Tabla 45

Puntos de equilibrio para la modalidad de subcontrato

Actividad	Costo directo optimizado	Punto de equilibrio
Demolición de losa (e -30 cm)	$1.728.000	$13.935/m²
Excavación manual	$7.200.000	$22.333/m³
Alcance consolidado	$8.928.000	$8.928.000 por el conjunto

Si una cotización de subcontrato supera $13.935/m² para demolición o $22.333/m³ para excavación, la contratación directa optimizada presenta un costo inferior. El subcontrato solamente sería económicamente conveniente si ofrece tarifas menores y garantiza las mismas

condiciones de plazo, calidad, seguridad, herramientas, retiro de materiales y disponibilidad de personal.

Para las condiciones evaluadas, la contratación directa optimizada se establece como la alternativa recomendada, debido a que permite controlar la secuencia diaria, aplicar las mejoras Kaizen, medir los rendimientos y mantener la coordinación entre la excavadora y los trabajadores.

4.3.15 Composición óptima final

Es importante señalar que la composición de cuadrilla que se presenta en esta sección es óptima para las condiciones específicas del caso estudiado: las restricciones físicas del frente de trabajo, los costos de mano de obra registrados en el proyecto, los rendimientos individuales observados mediante muestreo del trabajo y el plazo de ejecución establecido por la dirección de obra. Los resultados son una referencia técnica basada en datos reales de campo, pero no deben entenderse como una composición universal para cualquier proyecto de demolición o excavación sin un análisis previo de las condiciones particulares de cada obra.

La replicación del modelo es metodológica: el procedimiento puede aplicarse en otros contextos, pero los valores óptimos que se obtengan dependerán de los parámetros propios de cada proyecto. Los resultados obtenidos permiten establecer una composición específica para cada actividad (ver Tabla 46).

Tabla 46

Composición óptima de las cuadrillas

Actividad	Oficiales directos	Ayudantes	Composición seleccionada	Resultado esperado
Demolición de losa (e -30 cm)	0	2	Un ayudante opera el taladro y otro realiza el retiro simultáneo de escombros	1,332 m²/h y 12 días programados
Excavación manual	0	5	Tres ayudantes en ejecución, uno en transporte y uno en control y apoyo	16,69 m³/día y 20 días programados

En la demolición, la composición adecuada continúa siendo de dos ayudantes, debido a que el principal potencial de mejora se encuentra en la organización interna y no en el incremento del personal. En la excavación manual, cuatro ayudantes constituyen la solución mínima para cumplir el plazo, mientras que cinco ayudantes representan la composición óptima integral, porque mantienen el costo total de $7.200.000 y reducen la duración de 25 a 20 días.

Figura 4

Composición óptima de cuadrilla



Capítulo 5.

Conclusiones

El diagnóstico evidenció que la conformación de cuadrillas en las empresas constructoras de Ocaña continúa sustentándose principalmente en criterios empíricos, ya que el 36,7 % de los profesionales señaló que la experiencia del encargado constituye el principal criterio de asignación y el 23,3 % indicó la disponibilidad inmediata de personal, mientras que únicamente el 10,0 % manifestó utilizar análisis técnicos de productividad; esta situación se relaciona además con debilidades en el registro y aprovechamiento de información propia, debido a que solo el 23,3 % lleva un control completo de los rendimientos y apenas el 20,0 % utiliza estos datos para actualizar los análisis de precios unitarios. A esto se suma que los factores con mayor incidencia sobre la productividad fueron la gestión deficiente de materiales y equipos, con 78,5 %, el tamaño y la composición de la cuadrilla, con 73,3 %, y la mano de obra poco calificada, con 72,1 %, resultados que permiten concluir que existe una necesidad concreta de avanzar hacia procedimientos de asignación del personal sustentados en datos reales de productividad, tiempos y costos.

La evaluación de la productividad permitió establecer una línea base técnica para las actividades de demolición de losa (e -30 cm) y excavación manual de zapatas, encontrándose en la demolición un 42,8 % de Trabajo Productivo, 26,5 % de Trabajo Contributivo y 30,7 % de Trabajo No Contributivo, mientras que en la excavación manual se registró 44,4 % de Trabajo Productivo, 18,8 % de Trabajo Contributivo y 36,8 % de Trabajo No Contributivo; las principales pérdidas estuvieron asociadas con desequilibrios en la distribución de funciones y con periodos de espera generados durante la intervención de la maquinaria. Considerando un

costo de $9.000 por trabajador-hora, el costo-hora de las cuadrillas fue de $18.000 para demolición y $36.000 para excavación, con costos unitarios de $18.000/m² y $27.692/m³, respectivamente; a partir del VSM y como escenario escenario optimizado calculado no como resultado de una segunda medición en campo se proyectó incrementar el Trabajo Productivo hasta 57,0 % y reducir el Trabajo No Contributivo hasta 15,0 %, valores que representa metas estimadas bajo supuesto de la aplicación conjunta de las acciones kaizen propuestas y que confirma la utilidad de las herramientas Lean para identificar pérdidas, reorganizar las actividades y proponer mejoras concretas en el flujo de trabajo.

Finalmente, la aplicación del modelo de optimización permitió definir una composición técnica de cuadrilla para cada actividad a partir de criterios de productividad, plazo, costo y balance de cargas; en la demolición se mantuvo una cuadrilla de dos ayudantes, pero con una mejor distribución de funciones, lo que permite aumentar la productividad de 1,00 a 1,332 m²/h, obtenida mediante el pactor de mejora estimado a partir de la meta de TP del 57% lo cual permite reducir la duración de 16 a 12 jornadas y disminuir el costo de $2.304.000 a $1.728.000, equivalente a una reducción de 25,0 %.

En la excavación manual, por su parte, se estableció que cinco ayudantes constituyen la alternativa óptima para las condiciones del caso estudiado; la productividad proyectada de 16,69 m³/día, reducir la duración de 31 a 20 jornadas y disminuir el costo de $8.928.000 a $7.200.000, equivalente a 19,4 %; en conjunto, la optimización reduce el costo programado de la mano de obra de $11.232.000 a $8.928.000, lo que representa un ahorro de 20,5 % y permite establecer que el uso de Microsoft Excel Solver constituye una herramienta técnica reproducible para apoyar la asignación del personal con base en rendimientos y costos obtenidos directamente en campo.

Capítulo 6.

Recomendaciones

Se recomienda que las empresas constructoras de Ocaña implementen un sistema permanente de registro de productividad en el que se consoliden los tiempos de ejecución, los rendimientos reales, los costos de mano de obra y la composición de las cuadrillas, teniendo en cuenta que únicamente el 23,3 % de los profesionales encuestados manifestó llevar un control completo de los rendimientos. Contar con esta información permitiría tomar decisiones basadas en datos reales de obra, mejorar la asignación del personal y disminuir la dependencia de criterios empíricos como la experiencia del encargado o la disponibilidad inmediata de trabajadores.

Asimismo, resulta conveniente incorporar de manera sistemática herramientas de Lean Construction, especialmente el muestreo del trabajo, el análisis de Pareto y el Value Stream Mapping, ya que estas permiten identificar pérdidas relacionadas con esperas, desplazamientos innecesarios, desequilibrios en la distribución de las tareas y actividades que no agregan valor. Esta recomendación cobra especial importancia si se considera que el Trabajo No Contributivo alcanzó el 30,7 % en la demolición y el 36,8 % en la excavación manual, porcentajes que evidencian oportunidades claras para reorganizar los procesos y mejorar el aprovechamiento del tiempo de trabajo.

También se recomienda definir la composición de las cuadrillas de acuerdo con la capacidad real del frente, los equipos disponibles y la productividad requerida, evitando aumentar el número de trabajadores sin analizar previamente si las condiciones operativas permiten aprovechar ese incremento. En la demolición, por ejemplo, la disponibilidad de un solo

taladro percutor justificó mantener una cuadrilla de dos ayudantes y concentrar la mejora en la distribución de funciones, mientras que en la excavación manual la alternativa de cinco ayudantes permitió reducir la duración de 31 a 20 jornadas sin incrementar el costo total frente al escenario de cuatro trabajadores durante 25 días; por esta razón, la conformación de las cuadrillas debe responder a criterios técnicos de productividad, costo y balance de cargas.

Finalmente, se recomienda para futuros estudios extender la aplicación de esta metodología a un mayor número de obras, procesos constructivos y contratistas del municipio de Ocaña y la región, con el propósito de ampliar la base de datos de productividad y determinar si los indicadores obtenidos en este proyecto 42,8% y 44,4% de trabajo productivo en demolición y excavación, respectivamente corresponden a condiciones particulares de la obra analizada o reflejan una tendencia representativa del sector constructor local.

Esta línea de investigación permitiría construir referencias regionales de productivas, fortalecer los análisis de precios unitarios con datos propios del contexto y consolidar la metodología como un instrumento estandarizable para la asignación técnica de cuadrillas en empresas constructoras de Ocaña, Norte de Santander.

Referencias

Agrawal, A., & Halder, S. (2019). *Identifying factors affecting construction labour productivity in India and measures to improve productivity.* Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s42107-019-00212-3

Albalkhy, W., & Sweis, R. (2020). *Barriers to adopting lean construction in the construction industry: a literature review.* Obtenido de https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S204041662000020X

Angarita, P., Ovallos, L., & Carballo, B. (2018). *Análisis de la productividad de mano de obra para la construcción de una vivienda unifamiliar en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.* Obtenido de https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/3123

Arboleda, S. (2014). *Análisis de productividad, rendimientos y consumo de mano de obra en procesos constructivos, elemento fundamental en la fase de planeación. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia.* Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51745

Ardila, R. (2022). *Metodología para determinar la cuadrilla de trabajo óptima en procesos de muros de mampostería H-12 desde el enfoque Lean Construction* .

Ardila, R., Duran, M., Martinez, K. Y., & Mejia, G. (2024). *Factors affecting labor productivity in the global construction industry: a critical review, classification and ranking.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/379568936_Factors_affecting_labor_productivity_in_the_global_construction_industry_a_critical_review_classification_and_ranking

Ardila, R., Durán, M., Vides, K., & Mejía, G. (2024). *Factors Affecting Labor Productivity in*

the Global Construction Industry. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9429171

Balkhy, W. A., Sweis, R., & Lafhaj, Z. (2021). *Barriers to Adopting Lean Construction in the Construction Industry—The Case of Jordan.* Obtenido de https://www.mdpi.com/2075-5309/11/6/222

Bergamo, B., & Catai, R. E. (2023). *Aplicação do planejamento de curto prazo.* Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9408548

Bisbal, J. F. (2023). *Caso de éxito en la aplicación de Lean Construction en la ejecución de la obra del Hospital Arnau de Vilanova.* Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9227355

Blandín, E. F. (2023). *La metodología Lean Construction: Una revisión sistemática a la bibliografía (2019-2020).* Obtenido de https://dspace.ucacue.edu.ec/items/7f3a3525-4a65-4f33-8177-b1713084ef0c

Blandín, F. (2023). *La metodología Lean Construction: Una revisión sistemática a la bibliografía (2019–2023). South Florida Journal of Development, 4(6), 2413–2431.* Obtenido de https://doi.org/10.46932/sfjdv4n6-016

Botero, L. (2006). *Construcción sin pérdidas: Análisis de procesos y filosofía Lean Construction. Legis.* . Obtenido de https://hdl.handle.net/10784/28463

Botero, L., & Álvarez, M. (2003). *Identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción. Revista Universidad EAFIT, 39(130), 65–78.* . Obtenido de https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/911

Caballero, O., Zambrano, O., & Ponce, B. (2018). *Estado actual de la aplicación de la metodología Lean Construction en la gestión de proyectos de construcción en Colombia.*

Obtenido de https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.25.5968

Castaño, P., Sánchez, J., & García, J. (2021). *Revisión bibliográfica sobre el estudio de pérdidas en la construcción bajo principios Lean.* Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/5537/553772639003/html/

Castillo, V. (2001). *Productividad en obras de construcción: Diagnóstico, crítica y propuesta. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.* . Obtenido de https://doi.org/10.18800/9789972424175

Castro, F. F., Castro, E. P., Osorio, J. C., & Merizalde, J. E. (2022). *Causas de retraso en la construcción de proyectos de agua potable y alcantarillado en Ecuador.* Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/5703/570369777002/html/

Cortés, M., Herrera, F., & Muñoz, B. Á. (2020). *Principales requerimientos de una herramienta TI basada en last planner® system.* Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9411119

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2024). *Indicadores económicos alrededor de la construcción.* . Obtenido de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indicadores-economicos-alrededor-de-la-construccion

Díaz, D., Arias, R. C., & Tinajero, M. (2020). *Sector construcción en Ecuador: un análisis en el contexto de pandemia Covid-19.* Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/7219/721977560004/

Encinas, J., Corral, R. A., López, O., Cervantes, A., & Durazo, M. (2025). *Optimización de la Productividad en la Construcción. Técnicas y Herramientas de Lean Construction para la Eficiencia Operacional.* Obtenido de

https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10375845

Fernández, A., Murillo, A., Lima, N., Velasquez, C., & Salvatierra, S. (2023). *Análisis comparativo de los factores del rendimiento de la mano de obra en la construcción en el departamento de Cochabamba, Bolivia.* Obtenido de https://doi.org/10.15649/2346030X.3149

Garay, S., Pavel, A., & Cerón, J. (2023). *El monitoreo del sector de la construcción en el Valle del Cauca.* Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-30532023000100237

Garcés, G., & Peña, C. (2023). *A review on lean construction for construction project management.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/369002238_A_review_on_lean_construction_for_construction_project_management

Garcés, G., & Peña, C. (2023). *A review on Lean Construction for construction project management. Revista Ingeniería de Construcción, 38(1), 43–60.* . Obtenido de https://doi.org/10.7764/RIC.00051.21

Gunduz, M., & Abu-Hijleh, A. (2020). *Assessment of Human Productivity Drivers for Construction Labor through Importance Rating and Risk Mapping.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/344719314_Assessment_of_Human_Productivity_Drivers_for_Construction_Labor_through_Importance_Rating_and_Risk_Mapping

Hernández, R. F., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.*

Holmström, J., Ketokivi, M., & Hameri, A. (2009). *Bridging practice and theory: A design science approach. Decision Sciences, 40(1), 65–87.* . Obtenido de

https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00221.x

Hoyos, M. F., & Botero, L. F. (2021). *Implementation del sistema del último planificador en el sector constructor colombiano: Caso de estudio.* Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8273213

Jiménez, J. C., Cabrera, R. A., & Figuera, P. A. (2024). *Percepción de los Factores de Riesgos en los Trabajadores de la Construcción.* Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9944514

Kasanen, E., Lukka, K., & Siitonen, A. (1993). *The constructive approach in management accounting research. Journal of Management Accounting Research, 5, 243–264.*

Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction (Technical Report No. 72). Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University.*

Llave, I. L., & Mejía, M. R. (2025). *Feriados legales y productividad laboral en sectores económicos.* Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/7742/774283578005/

March, S., & Smith, G. (1995). *Design and natural science research on information technology. Decision Support Systems, 15(4), 251–266.* . Obtenido de https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2

Méndez, N., Oteiza, T., Suárez, A., & Sánchez, Y. (2023). *Optimización temporal del proyecto de construcción de un parque infantil.* Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/1815/181574886007/181574886007.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. República de Colombia.*

Ministerio del Trabajo. (2012). *Resolución 1409 de 2012.* Obtenido de https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/45107/resolucion_00001409_de_2012.

pdf

Ministerio del Trabajo. (2015). *Decreto 1072 de 2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo.* Obtenido de Ministerio del Trabajo. (2015). Decreto 1072 de 2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. República de Colombia. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=72173

Ministerio del Trabajo. (2019). *Resolución 0312 de 2019.* Obtenido de https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59995826/Resolucion+0312-2019-+Estandares+minimos+del+Sistema+de+la+Seguridad+y+Salud.pdf

Montoya, G., Díaz, J., & Bravo, L. (2019). *Aplicación del Value Stream Mapping en el proceso del acero en el sector construcción. Revista Tayacaja, 2(2), 82–94.* . Obtenido de https://doi.org/10.46908/rict.v2i2.50

Morales, N., & Galeas, J. (2020). *Diagnóstico y evaluación de la relación entre el grado de industrialización y los sistemas de gestión con el nivel de productividad en obras de construcción.* Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1066

Muñoz, S., Gómez, N., & Ticona, J. (2023). *Una revisión del impacto de la adopción de la metodología Lean Construction en los proyectos de construcción. Cuaderno Activa, 14(1).* Obtenido de https://doi.org/10.53995/20278101.1050

Pérez, G. J., Rubio, J. G., Ponce, C., Salgado, L., & Esmeralda, A. (2023). *Factibilidad económico-constructiva del carrizo, el mimbre y el polvo de mármol para elaborar cadenas en muros.* Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10431893

Porras, H., Sánchez, O., & Galvis, J. (2014). *Filosofía Lean Construction para la gestión de*

proyectos de construcción: Una revisión actual. Avances Investigación en Ingeniería,. Obtenido de https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.298

Ramani, P. V., & Lingan, L. K. (2019). *Application of lean in construction using value stream mapping.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/338002672_Application_of_lean_in_construction_using_value_stream_mapping

Renato, P., & Muller, B. M. (2022). *DESAFIOS E BARREIRAS DO BIM E DO LEAN NA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA.* Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/4417/441772813012/html/

Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to see: Value stream mapping to create value and eliminate muda. Lean Enterprise Institute.*

Serpell, A. (2002). *Administración de operaciones de construcción (2.ª ed.). Alfaomega.*

Trillo, A., Carrillo, J., & Rubio, J. (2021). *Perception of risk in construction. Exploring the factors that influence experts in occupational health and safety.* Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753520303878

Villagarcia, S., & Brioso, X. (2020). *Enseñanza de la filosofía de Lean Construction en la formación de Ingenieros Civiles: Una actualización del diseño del curso.* Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9300050

Villarreal, S. M., & Correa, J. H. (2020). *Metodología para la implementación de la filosofía Lean Construction en edificaciones.* Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8716483

Zuleta, H. R., Sanabria, A. E., Puerta, F. A., Ramirez, J. C., & Fajardo, W. S. (2023). *Performance management in construction projects: a systematic literature review.*

Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/496/49677771007/html/

Apéndices

Apéndice A

Registro fotográfico








MACHO











Apéndice B

Encuesta a profesionales del sector de la construcción

Objetivo: conocer las percepciones de los profesionales del sector acerca de los factores que influyen en la productividad de la mano de obra y la manera en que actualmente se conforman las cuadrillas de trabajo en las obras de edificación del municipio de Ocaña, Norte de Santander.

Instrucciones generales: marque con una X la opción que corresponda. En las preguntas de selección múltiple puede marcar más de una respuesta. La información se utilizará exclusivamente con fines académicos y será tratada de manera confidencial.

SECCIÓN A. INFORMACIÓN GENERAL DEL ENCUESTADO

1. ¿Cuál es su cargo principal?
□ Director de obra
□ Ingeniero residente
□ Supervisor
□ Maestro de obra
□ Contratista
□ Otro: _____

2. ¿En qué tipo de organización trabaja principalmente?
□ Constructora
□ Contratista
□ Subcontratista
□ Consultoría/interventoría
□ Entidad pública
□ Otra: _____

3. ¿En qué sector o tipo de proyecto tiene mayor experiencia?
□ Edificaciones residenciales
□ Edificaciones comerciales
□ Institucional

□ Infraestructura
□ Otro: _____

4. ¿Cuántos años de experiencia tiene en el sector de la construcción?
□ Menos de 5 años
□ De 5 a 10 años
□ De 11 a 15 años
□ Más de 15 años

5. ¿Cuál es la zona principal donde desarrolla sus actividades?
□ Ocaña - zona urbana
□ Ocaña - zona rural

6. ¿Ha participado en la planificación o conformación de cuadrillas de trabajo?
□ Sí
□ No

7. ¿Cuál es su nivel de conocimiento sobre Lean Construction?
□ Nulo
□ Básico
□ Intermedio
□ Avanzado

8. ¿Cuáles de las siguientes herramientas de productividad conoce o ha utilizado? *(Puede marcar más de una opción).*
□ Muestreo de trabajo
□ Diagrama de balance de cuadrilla
□ Mapa de Flujo de Valor (VSM)
□ Last Planner System
□ Ninguna

SECCIÓN B. FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA

Instrucción: para cada factor, marque un valor de 1 a 5 en las dos columnas. En impacto, valore cuánto influye el factor sobre la productividad; en frecuencia, indique qué tan recurrente es en las obras. En ambos casos, 1 representa un nivel bajo y 5 un nivel alto.

N.º	Factor	Impacto					Frecuencia				
		□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
	DIMENSIÓN GESTIÓN										
1	Demoras en inspecciones	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
2	Supervisión deficiente de la mano de obra	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
3	Ubicación inadecuada de zonas de almacenamiento	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
4	Tamaño y composición de la cuadrilla	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
5	Retrasos en pagos	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
6	Falta de reuniones periódicas de coordinación	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
7	Comunicación deficiente entre los integrantes del equipo del proyecto	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
8	Cambios frecuentes de órdenes o instrucciones de trabajo	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
9	Alta proporción de trabajo subcontratado	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
10	Intervención frecuente del cliente durante la ejecución	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
11	Gestión deficiente de materiales y equipos	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
12	Exceso de horas extras	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
	DIMENSIÓN MOTIVACIONAL										
13	Baja satisfacción laboral	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
14	Ambiente de trabajo deficiente	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
15	Falta de estabilidad o seguridad laboral	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
16	Falta de programas de reconocimiento al trabajador	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
17	Falta de capacitación o entrenamiento	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
	DIMENSIÓN HUMANA										
18	Mano de obra poco calificada	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
19	Falta de tiempos de descanso durante la jornada o fatiga	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
20	Escasez de mano de obra disponible	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
21	Ausentismo laboral	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
22	Comunicación deficiente con los trabajadores	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
	DIMENSIÓN TÉCNICA										
23	Demora en responder solicitudes de información técnica (RFI)	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
24	Especificaciones técnicas poco claras	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
25	Logística y gestión deficiente del sitio de obra	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
26	Errores de diseño y cambios durante la construcción	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
27	Metodología constructiva deficiente	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
28	Reprocesos	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
	DIMENSIÓN SEGURIDAD										
29	Incumplimiento de precauciones y normas de seguridad	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
30	Ausencia de responsable de seguridad en la obra	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
31	Altos niveles de ruido	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
32	Condiciones inseguras de trabajo	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
	DIMENSIÓN EXTERNA										
33	Condiciones climáticas adversas	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
34	Condiciones imprevistas del terreno	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5
35	Demoras en aprobaciones por parte de autoridades	□1	□2	□3	□4	□5	□1	□2	□3	□4	□5

N.º	Factor	Impacto	Frecuencia
		□1 □2 □3 □4 □5	**□1 □2 □3 □4 □5**
36	Cambios frecuentes en la normatividad	□1 □2 □3 □4 □5	□1 □2 □3 □4 □5
37	Inestabilidad económica local	□1 □2 □3 □4 □5	□1 □2 □3 □4 □5

SECCIÓN C. MÓDULO COMPLEMENTARIO SOBRE LA CONFORMACIÓN DE CUADRILLAS

1. ¿Cuál es el criterio principal utilizado para conformar las cuadrillas de trabajo?
□ Experiencia del encargado
□ Rendimiento histórico
□ Disponibilidad de personal
□ Presupuesto
□ Análisis técnico de productividad
□ Otro: _____

2. ¿Con qué frecuencia se analiza si el tamaño de la cuadrilla es adecuado para la actividad?
□ Nunca
□ Rara vez
□ Algunas veces
□ Casi siempre
□ Siempre

3. ¿La empresa registra los rendimientos reales de la mano de obra?
□ Sí
□ No
□ Parcialmente

4. ¿Se utilizan datos propios de rendimiento para elaborar o actualizar los análisis de precios unitarios (APU)?
□ Sí
□ No
□ Parcialmente

5. ¿Con qué frecuencia se realiza la asignación diaria de trabajadores con apoyo en información técnica?
□ Nunca
□ Rara vez
□ Algunas veces
□ Casi siempre
□ Siempre

6. Ante la presencia de retrasos en obra, ¿cuál es la acción que se aplica con mayor frecuencia?
□ Aumentar personal
□ Aumentar horas extras
□ Reprogramar actividades
□ Cambiar el método constructivo
□ Revisar las restricciones del proceso
□ Otra: _____

7. ¿Qué tan viable considera la aplicación de herramientas Lean Construction para mejorar la conformación de las cuadrillas?

□ No viable
□ Poco viable
□ Medianamente viable
□ Viable
□ Muy viable

Gracias por su participación.