

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Documento F-AC-DBL-007	Código 30-09-2024	Fecha C
	Dependencia DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Aprobado SUBDIRECTOR ACADEMICO	Pág. 1(1)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Álvaro José Quintero Rojas		
FACULTAD	Ingeniería		
PLAN DE ESTUDIOS	Maestría en Construcción		
DIRECTOR	Sandra Liliana Cano Moya		
CODIRECTOR (si aplica)	Romel Jesús Gallardo Amaya		
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis del desperdicio de materiales en los proyectos de construcción residencial en el municipio de Ocaña, Norte de Santander mediante principios de Lean Construction		
TITULO EN INGLES	Analysis of material waste in residential construction projects in the municipality of Ocaña, Norte de Santander through Lean Construction principles		
RESUMEN (70 palabras)			
El proyecto analiza el desperdicio de materiales en proyectos residenciales de Ocaña, identificando sus principales causas y cuantificando sus índices en los procesos constructivos. Se emplea observación directa en campo y validación mediante revisión bibliográfica de estudios con similitud temática y metodológica. Con base en ello, se proponen estrategias sustentadas en principios y herramientas de Lean Construction, orientadas a reducir el desperdicio y fomentar prácticas sostenibles en la construcción regional.			
RESUMEN EN INGLES			
The project analyzes material waste in residential projects in Ocaña, identifying its main causes and quantifying its rates in construction processes. Direct observation in the field and validation through a literature review of studies with similar themes and methodologies are used. Based on this, strategies are proposed that are based on Lean Construction principles and tools, aimed at reducing waste and promoting sustainable practices in regional construction.			
PALABRAS CLAVES	Lean Construction, Proyecto Residencial, Construcción, Desperdicio de Materiales, Procesos Constructivos.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Lean Construction, Residential Project, Construction, Material Waste, Construction Processes.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 141	PLANOS:0	ILUSTRACIONES:0	CD-ROM:0



**Análisis del Desperdicio de Materiales en los Proyectos de Construcción Residencial en el
Municipio de Ocaña, Norte de Santander mediante principios de Lean Construction**

Álvaro José Quintero Rojas

Facultad de Ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Maestría en Construcción.

Director: PhD. Sandra Liliana Cano Moya

Codirector: Mgtr. Romel Jesús Gallardo Amaya

01 de Octubre de 2025.

ÍNDICE

1.	Análisis del Desperdicio de Materiales en los Proyectos de Construcción Residencial en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander mediante principios de Lean Construction	9
1.1	Planteamiento del Problema	9
1.2	Formulación del Problema.....	11
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	Geográfica.....	15
1.5.2	Temporal.....	15
1.5.3	Conceptual	15
1.5.4	Operativa.....	15
2.	Marco Referencial.....	18
2.1	Marco Histórico	18
2.2	Marco Contextual.....	21
2.3	Marco Conceptual.....	23
2.4	Marco Teórico.....	25
2.5	Marco Legal	31
3	Diseño Metodológico.....	34

	3
3.1 Tipo de investigación.....	34
3.2 Población y Muestra	34
3.2.1 Población.....	34
3.2.2 Muestra	35
3.3 Técnicas e Instrumentos de recolección de la información.	35
3.4 Análisis de la Información	36
3.4.1 Amenazas a la validez y medidas de mitigación	38
4 Resultados	39
4.1 Identificar las principales causas del desperdicio de materiales representativos en procesos constructivos en proyectos de construcción residencial en Ocaña, a través de la recopilación de información en campo y revisión de literatura para comprender los orígenes y factores de incidencia.....	39
4.1.1 Caracterización del proyecto de construcción residencial.	39
4.1.2 Selección de materiales representativos.....	40
4.1.3 Selección de proyectos de construcción residencial.	53
4.1.4 Identificación de las causas principales de desperdicio.	56
4.1.5 Análisis de las causas principales de desperdicio.	76
4.2 Cuantificar el nivel de desperdicio de materiales representativos en los procesos constructivos, mediante la aplicación de metodologías de auditoría de desperdicios y seguimiento a procesos constructivos para establecer comparaciones con referencias del sector.	94
4.2.1. Medición del desperdicio del concreto.	97

4.2.2. Medición del desperdicio de Acero de refuerzo	106
4.2.3. Medición del desperdicio del Bloque H-10.	109
4.3 Proponer estrategias mediante la aplicación de principios y/o herramientas de Lean Construction para la reducción del desperdicio en proyectos residenciales del municipio de Ocaña Norte de Santander.....	115
4.3.1. Estrategias para la reducción del desperdicio de Concreto.....	116
4.3.2. Estrategias para la reducción del desperdicio de Acero de refuerzo.	121
4.3.3. Estrategias para la reducción del desperdicio de Bloque H-10.....	125
Conclusiones	129
Recomendaciones	131
Referencias.....	133
Apéndices.....	141

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Trazabilidad de los objetivos de la investigación.....	17
Tabla 2 - Herramientas Lean, condiciones de aplicación y tipos de desperdicio que reducen.....	30
Tabla 3 - Costos directos por capítulos de obra en un proyecto de construcción residencial.....	41
Tabla 4 - Análisis de Pareto del costo directo por capítulo de obra	42
Tabla 5 - Detalle de actividades, unidades y cantidades por capítulo seleccionado	44
Tabla 6 - Costo total por material	45
Tabla 7 - Análisis de Pareto del costo de materiales de construcción.	46
Tabla 8 - Selección de materiales representativos para el análisis de desperdicio según peso económico	48
Tabla 9 - Análisis de coincidencia de materiales en literatura y presupuesto	51
Tabla 10 - Criterios de selección de proyectos de construcción residencial.....	55
Tabla 11 - Proyectos seleccionados para el trabajo de campo de la investigación.....	55
Tabla 12 - Causas de desperdicio observadas en actividades constructivas durante visitas técnicas	59
Tabla 13 - Clasificación de causas de desperdicio por material representativo según categoría general y observación específica.	61
Tabla 14 - Frecuencia de causas de desperdicio por material representativo observadas en campo	62
Tabla 15 - Agrupación de causas de desperdicio identificadas en la revisión de literatura.....	67
Tabla 16 - Causas de desperdicio por material según revisión de literatura.....	70
Tabla 17 - Validación de causas identificadas en campo con revisión bibliografía.	72

Tabla 18 - Listado de causas de desperdicio por material	72
Tabla 19 - Organización de Frecuencia total de causas de desperdicio de materiales	74
Tabla 20 - Causas de desperdicio de concreto con frecuencia mayor o igual al percentil 75	75
Tabla 21 - Relación entre causas de desperdicio y tipo de desperdicio Lean Construction.	77
Tabla 22 - Selección de herramienta para análisis causa-raíz por tipo de causa identificada	81
Tabla 23 - Cantidad teórica de concreto estimada a partir de planos estructurales por elemento y muestra.....	98
Tabla 24 - Volumen de cemento utilizado en obra por muestra y elemento.	100
Tabla 25 - Volumen de agua utilizada en obra por muestra y elemento.....	101
Tabla 26 - Volumen de agregado fino utilizado en obra por muestra y elemento.....	102
Tabla 27 - Volumen de agregado grueso utilizado en obra por muestra y elemento.....	103
Tabla 28 - Cantidad utilizada de concreto en obra por muestra y elemento.....	104
Tabla 29 - Cantidades teóricas, utilizadas e índice de desperdicio para muestras de volumen de concreto.....	104
Tabla 30 - Clasificación de los valores de desperdicio de concreto en optimista, probable y pesimista.	105
Tabla 31 - Cantidades teóricas calculadas en las muestras de acero de refuerzo.	107
Tabla 32 - Cantidades teóricas, utilizadas e índice de desperdicio para muestras de acero de refuerzo.	108
Tabla 33 - Clasificación de los valores de desperdicio de acero en optimista, probable y pesimista.	109

Tabla 34 - Cantidades teóricas, utilizadas e índice de desperdicio para muestras de Bloque H-10.	111
Tabla 35 - Clasificación de los valores de desperdicio de bloque H-10 en optimista, probable y pesimista.	111
Tabla 36 - Índices de desperdicio por material y elemento constructivo	112
Tabla 37 - Comparación de índices de desperdicio obtenidos en obra con valores reportados en la literatura	113
Tabla 38 - Validación de coherencia entre causas raíz, herramientas Lean y estrategias propuestas	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de Pareto del costo directo por capítulo de obra	43
Figura 2 - Diagrama de Pareto del costo de materiales de construcción.	47
Figura 3 - Frecuencia total de causas de desperdicio de materiales y P75.	75
Figura 4 - Clasificación de causas del desperdicio de concreto por categorías	79
Figura 5 - Clasificación de causas del desperdicio de acero por categorías	79
Figura 6 - Clasificación de causas del desperdicio de bloque-h10 por categorías.....	80
Figura 7 - Diagrama de Ishikawa para la preparación de mezcla en un lugar inadecuado.	83
Figura 8 - Diagrama de Ishikawa para problemas en encofrado.	85
Figura 9 - Diagrama de Ishikawa para problemas en transporte de mezcla.	87
Figura 10 - Metodología de los 5 ¿Por qué? para el almacenamiento inadecuado del acero.	90
Figura 11 - Metodología de los 5 ¿Por qué? para cortes inadecuado del acero.	91
Figura 12 - Metodología de los 5 Por que para la causa de fractura durante el transporte.	93
Figura 13 - Dimensiones nominales y masa por metro lineal de barras de refuerzo.	107

1. Análisis del Desperdicio de Materiales en los Proyectos de Construcción Residencial en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander mediante principios de Lean Construction

1.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad, la industria de la construcción constituye uno de los principales motores del crecimiento urbano y del bienestar social” (García et al., 2022). Sin embargo, este mismo impulso plantea retos críticos en términos de sostenibilidad y uso eficiente de recursos, lo que ha motivado su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en especial aquellos que promueven la “producción y consumo responsables” (Wen et al., 2020). Diversas iniciativas de gobiernos y entidades privadas buscan reducir las pérdidas de materiales y mitigar los impactos ambientales de la actividad constructiva (García et al., 2022; Wen et al., 2020).

No obstante, “la dinámica acelerada de la industria genera volúmenes significativos de residuos”, debido principalmente a prácticas tradicionales y a una planificación deficiente (Rojas et al., 2017). Estudios recientes evidencian que factores como la ineficiencia operativa, la escasa adopción de metodologías modernas y la falta de planificación explican el alto porcentaje de desperdicio de materiales (Lu et al., 2015; Chen et al., 2021; Nawaz et al., 2023). A nivel global, se estima que el sector genera anualmente cerca de “820 millones de toneladas de residuos”, equivalentes al 46 % del total, de los cuales el 85 % corresponde a hormigón, mampostería y cerámica (Hernández, 2008; Gálvez et al., 2018). Esto obliga a que todos los proyectos enfrenten el reto de reducir el desperdicio de materiales (Muñoz & Díaz, 2022).

En el contexto colombiano, la Asociación Nacional de Empresarios (ANDI, 2022) identifica a la construcción como uno de los principales pilares de la economía nacional, generador de empleo e infraestructura. Sin embargo, aún persisten brechas significativas en términos de eficiencia y sostenibilidad, particularmente en regiones con crecimiento acelerado como Ocaña, Norte de Santander. Según el DANE (2023), la población del municipio aumentará en un 12,5 % para 2030, lo que presionará la demanda de vivienda y, por ende, intensificará la actividad constructiva, generando riesgos como:

- Altos índices de desperdicio y sobre costos operativos.
- Incremento de los impactos ambientales y complicaciones en la gestión de residuos.
- Ausencia de herramientas de cuantificación y control para la toma de decisiones (Angarita & Durán, 2017).

Las iniciativas locales, en su mayoría, carecen de planificación colaborativa y de marcos de mejora continua orientados al uso eficiente de recursos. Se desconoce con precisión la magnitud del desperdicio en los proyectos de construcción residencial, lo que dificulta la identificación de puntos críticos, el diseño de soluciones correctivas y el cumplimiento de la meta 12 del ODS: Producción y Consumo Responsables.

Según Casadiegos (2018), Ocaña requiere urgentemente proyectos constructivos más resilientes y sostenibles, pero los altos niveles de desperdicio asociados a métodos tradicionales elevan tanto los costos como los residuos. La carencia de métricas claras de control impide

priorizar estrategias de mejora, lo cual tiene consecuencias sociales y ambientales importantes (Arias & Mahecha, 2021). Una de las causas estructurales de este problema es la falta de articulación entre los actores del proceso constructivo, lo cual favorece especificaciones fragmentadas y decisiones basadas en prácticas convencionales.

En conclusión, Ocaña enfrenta el desafío de tener un sector constructor activo, pero ineficiente, con elevados niveles de desperdicio de materiales, sobrecostos y consecuencias negativas para el entorno. La falta de sistemas de cuantificación y control adecuados limita la toma de decisiones y dificulta el cumplimiento de los ODS. Por tanto, se hace necesario promover investigaciones orientadas a medir y reducir el desperdicio de materiales en proyectos de construcción residencial, con la participación activa de todos los actores del proceso constructivo y mediante el uso de herramientas que fomenten la planificación colaborativa, la eficiencia operativa y el compromiso ambiental.

1.2 Formulación del Problema

¿Cómo la aplicación de los principios de Lean Construction puede contribuir a la reducción de desperdicio de materiales en los proyectos de construcción residencial en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander ?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar las principales causas y niveles de desperdicio de materiales representativos en proyectos de construcción residencial en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, mediante la aplicación de los principios de Lean Construction, con el fin de proponer estrategias de optimización en el uso de recursos y de mejora del desempeño ambiental.

1.3.2 Objetivos Específicos

Identificar las principales causas del desperdicio de materiales representativos en procesos constructivos en proyectos de construcción residencial en Ocaña, a través de la recopilación de información en campo y revisión de literatura para comprender los orígenes y factores de incidencia.

Cuantificar el nivel de desperdicio de materiales representativos en los procesos constructivos, mediante la aplicación de metodologías de auditoría de desperdicios y seguimiento a procesos constructivos, con el fin de obtener indicadores que respalden el diagnóstico de la situación actual en obra.

Proponer estrategias mediante la aplicación de principios y/o herramientas de Lean Construction para la reducción del desperdicio en proyectos residenciales del municipio de Ocaña Norte de Santander.

1.4 Justificación

La presente investigación tiene como propósito analizar los desperdicios de materiales en proyectos de construcción residencial en el municipio de Ocaña, aplicando los principios de Lean Construction como estrategia para su reducción. Este estudio busca generar conocimiento sobre los factores que inciden en el desperdicio, con el fin de mejorar la eficiencia, competitividad y sostenibilidad de los proyectos constructivos en el contexto local.

Diversos estudios han abordado el impacto del desperdicio y han evaluado la aplicación de Lean Construction como herramienta para identificar sus causas (Hincapié et al., 2020). Sin embargo, la mayoría se han enfocado en entornos urbanos mayores o en proyectos de gran escala, y no han abordado específicamente los proyectos residenciales en municipios intermedios como Ocaña. Asimismo, Lean Construction ha demostrado ser una filosofía eficaz para minimizar la pérdida de insumos, maximizando el valor entregado sin comprometer calidad, tiempo ni costos (Michalski, 2022). Según Cabrera (2018), su implementación ha permitido “entregas más rápidas y económicas, manteniendo estándares técnicos adecuados”.

Los resultados obtenidos serán útiles para las empresas constructoras del municipio, ya que permitirán aplicar estrategias de mejora en la gestión de materiales, reduciendo desperdicios y optimizando costos. Esto es especialmente relevante si se tiene en cuenta que los materiales representan el 66,05 % del costo total del proyecto, mientras que la mano de obra equivale al

28,51 %; por tanto, cualquier reducción en el desperdicio de insumos representa un ahorro significativo (Ruiz, 2018).

Asimismo, profesionales del sector como ingenieros, arquitectos y maestros de obra podrán utilizar los hallazgos y estrategias propuestas para mejorar la planificación y ejecución de sus obras, tomando decisiones más informadas con base en indicadores reales del contexto local. En el ámbito académico, el estudio servirá como insumo para futuras investigaciones relacionadas con eficiencia constructiva y sostenibilidad.

Desde una perspectiva ambiental y social, la reducción del desperdicio también contribuye a disminuir la presión sobre los recursos naturales y los residuos generados. Como menciona Galarza (2014), “el uso excesivo de materiales no solo implica desperdicio de insumos como cemento o arena, sino también un uso ineficiente de recursos complementarios como horas hombre, herramientas y equipos”. En este sentido, controlar el desperdicio es un paso clave hacia una gestión integral de obra (Ruiz, 2018).

Finalmente, este trabajo contribuirá al fortalecimiento de una cultura de planificación eficiente basada en Lean Construction, promoviendo prácticas sostenibles alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 9 (infraestructura resiliente e innovadora) y el ODS 12 (producción y consumo responsables). Se espera que los resultados permitan elaborar guías y capacitaciones que fomenten la adopción de estas estrategias en el sector residencial de Ocaña.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Geográfica

El trabajo de investigación se desarrollará en una muestra de las actividades constructivas ejecutadas en proyectos de edificación de uso residencial desarrollados por empresas constructoras del municipio de Ocaña, Norte de Santander.

1.5.2 Temporal

El presente trabajo de investigación se desarrollará en un plazo de seis (6) meses, tiempo suficiente para desarrollar las diferentes actividades propuestas para alcanzar los objetivos.

1.5.3 Conceptual

Para el desarrollo de la investigación se tendrán en cuenta conceptos como: industria de la construcción, proyectos de edificación, materiales de construcción, desperdicios de material, Lean Construction.

1.5.4 Operativa

La investigación se desarrolla en tres fases, considerando tanto el análisis de datos cualitativos como cuantitativos. La primera fase corresponde a la identificación de las causas del desperdicio de materiales representativos mediante la observación directa en obra y su validación con la revisión de literatura especializada. Este proceso permite consolidar un listado de factores

recurrentes asociados al problema, los cuales se clasifican según los principios de Lean Construction y se examinan a través de un análisis causa-raíz.

En la segunda fase se recopilan datos cuantitativos en diferentes proyectos de construcción, a partir de registros en obra y mediciones directas, comparando las cantidades de material realmente empleadas con aquellas previstas en los presupuestos.

La tercera fase, con base en los resultados obtenidos, incorpora la aplicación de principios y herramientas de Lean Construction orientadas a formular estrategias de mejora enfocadas en la optimización de procesos, la planificación colaborativa y la gestión eficiente de los recursos.

Adicionalmente, la unidad de análisis se establece en cada actividad constructiva vinculada al uso de materiales representativos, más que en el proyecto de construcción residencial en su conjunto. Así, las mediciones se concentran en elementos específicos como zapatas, columnas, losas y muros de mampostería con bloque H-10, lo que permite obtener indicadores de desperdicio más precisos y comparables, en coherencia con el diseño muestral y los objetivos planteados.

La Tabla 1 presenta la trazabilidad que asegura la coherencia metodológica de la investigación, relacionando cada objetivo específico con la sección metodológica correspondiente, las evidencias obtenidas en los resultados.

Tabla 1*Trazabilidad de los objetivos de la investigación*

Objetivo específico	Diseño metodológico	Resultados obtenidos
Identificar las principales causas del desperdicio de materiales representativos en procesos constructivos en proyectos de construcción residencial en Ocaña.	Observación directa en obra, revisión de literatura especializada, análisis de causas mediante Ishikawa y 5 ¿Por qué?, clasificación Lean.	Tablas 12 a 22: identificación, clasificación y priorización de causas de desperdicio en concreto, acero y bloque H-10.
Cuantificar el nivel de desperdicio de materiales representativos en los procesos constructivos, mediante metodologías de auditoría de desperdicios y seguimiento en obra.	Registro de cantidades teóricas vs. utilizadas, cálculo de índice de desperdicio (ID), escenarios PERT (optimista, probable y pesimista), contraste con literatura.	Tablas 23 a 37: índices de desperdicio por material y elemento (concreto, acero y bloque H-10) y comparación con valores reportados en literatura.
Proponer estrategias mediante la aplicación de principios y/o herramientas de Lean Construction para la reducción del desperdicio en proyectos residenciales de Ocaña.	Selección de herramientas Lean (5S, LPS, JIT, Estandarización, PDCA) en función de causas raíz, validación con actores locales, formulación de acciones.	Tabla 38: correspondencia entre causas, herramientas Lean y estrategias formuladas para concreto, acero y bloque H-10.

2. Marco Referencial

2.1 Marco Histórico

La industria de la construcción, aunque es uno de los sectores más relevantes a nivel mundial, enfrenta grandes desafíos relacionados con el desperdicio de materiales. En Europa, se generan aproximadamente 820 millones de toneladas de residuos, representando el 46 % del total de desechos regionales. En Estados Unidos, la cifra supera los 170 millones de toneladas anuales, respaldada por un sistema de gestión más avanzado (Muñoz, 2022). A nivel global, este sector consume cerca del 40 % de los recursos naturales y genera el 30 % de las emisiones de CO₂, siendo un actor clave en los impactos ambientales globales (Suárez-Silgado et al., 2019).

Los residuos como ladrillos, tejas, cerámicas y restos de hormigón representan un riesgo para el agua, suelo, aire, salud y ecosistemas (Suárez-Silgado et al., 2019). En Colombia, la situación no es diferente: el sector de la construcción representa más del 6,5 % del PIB nacional (DANE, 2020), y cada habitante genera más de una tonelada anual de residuos (Mora, 2021). De estos, más del 20 % corresponde a materiales utilizados por la industria, aunque solo el 2 % es aprovechado (Mozo, 2021), según el CONPES 3874.

A nivel internacional, las investigaciones han abordado el tema desde múltiples enfoques. Skoyles realizó uno de los estudios más ambiciosos en el Reino Unido, evaluando 21 materiales en 114 obras. En Porto Alegre, Soibelman (1993) analizó cinco proyectos con personal dedicado

al seguimiento de materiales, logrando determinar índices y causas de desperdicio. Galarza Meza (2011) realizó una investigación orientada a reducir el consumo de materiales con base en su costo y volumen, obteniendo resultados significativos para la gestión del desperdicio.

En el año 1992, Lauri Koskela, a partir de los principios de Lean Manufacturing, los propuso para el sector de la Construcción, lo que definió como Lean Construction, el cual se obtuvo como una estrategia orientada a minimizar las pérdidas durante de la ejecución de los procesos constructivos. Además, filosofías como Lean Construction y la economía circular, son de gran importancia para dar aumento a la productividad, alcanzar la sustentabilidad y a su vez mejorar la calidad (Andreas & Cuadra, 2021).

En diferentes proyectos a nivel mundial, la implementación de Lean Construction ha señalado un fuerte impacto. En España, empresas han reportado que la aplicación de la herramienta de Lean Construction, Last Planner System ha permitido cumplir satisfactoriamente con los plazos establecidos y a su vez con una disminución de desperdicios de materiales. (Díaz et al., 2014). En Estados Unidos, las empresas que incluyeron esta filosofía reportaron ahorros de hasta 20% en costos del proyecto (Restrepo Ramírez Alexander, 2020). En China, en la construcción del Hotel T-30, en tan solo 15 días, gracias a la implementación de herramientas de Lean, demostraron la eficiencia en la planificación y reducción de (Ballard, 2016).

En Colombia, diversos proyectos como la represa de Hidroituango y la Hidroeléctrica del Quimbo lograron optimizar costos y mejorar el aprovechamiento de los recursos mediante la

implementación de Lean Construction (Restrepo, 2020). Estudios en proyectos de vivienda también destacan que esta metodología permite medir y cuantificar desperdicios, logrando mayor eficiencia y reduciendo sobrecostos (Gómez Ríos, 2022). En edificios de apartamentos en Bogotá, su implementación ha mejorado la gestión de riesgos y la calidad, aunque aún existen retos en la capacitación del personal (Caballero O. et al., 2018). Además, un análisis de trabajos académicos y de investigación realizado entre el año 2017 y 2021 arrojaron que la filosofía Lean permite entregar proyectos de forma más rápida y con mayor satisfacción para el cliente, además de reducir errores en la ejecución (Muñoz, 2022).

A partir de estos antecedentes, se evidencia que el desperdicio de materiales en industria de construcción es una problemática a nivel mundial, que conlleva a diversas implicaciones en los proyectos, tanto económicos como ambientales. Así mismo, se ha observado que la implementación de Lean Construction en diversos proyectos han contribuido a reducir esta problemática; sin embargo, aún existen barreras técnicas que limitan la adopción de esta filosofía, especialmente contextos locales como el municipio de Ocaña. Por esta razón, esta investigación se orienta a realizar un análisis los factores que generan desperdicios en los proyectos residenciales, con base en los principios Lean Construction, con el fin de proponer estrategias que favorezcan a la reducción de dichos desperdicios.

2.2 Marco Contextual

La industria de la construcción, aunque constituye uno de los sectores más relevantes a nivel mundial, enfrenta importantes desafíos en relación con el desperdicio de materiales. Según Muñoz (2022), “en Europa se generan aproximadamente 820 millones de toneladas de residuos, representando el 46 % del total de desechos regionales”. En Estados Unidos, esta cifra supera los 170 millones de toneladas anuales, respaldada por un sistema de gestión más avanzado (Muñoz, 2022). A escala global, el sector consume cerca del 40 % de los recursos naturales y genera el 30 % de las emisiones de CO₂, consolidándose como un actor clave en los impactos ambientales globales (Suárez-Silgado et al., 2019).

Los residuos como ladrillos, tejas, cerámicas y restos de hormigón representan riesgos considerables para el agua, el suelo, el aire, la salud humana y los ecosistemas (Suárez-Silgado et al., 2019). En Colombia, esta problemática también está presente: el sector de la construcción representa más del 6,5 % del PIB nacional, según cifras del DANE (2020), y cada habitante genera más de una tonelada anual de residuos (Mora, 2021). De estos, más del 20 % corresponde a materiales usados por la industria, pero solo el 2 % es aprovechado, de acuerdo con datos del CONPES 3874 citados por Mozo (2021).

A nivel internacional, investigaciones pioneras han abordado la temática del desperdicio desde distintos enfoques. Skoyles llevó a cabo uno de los estudios más extensos en el Reino Unido, evaluando 21 materiales en 114 obras. En Brasil, Soibelman (1993) analizó cinco

proyectos en Porto Alegre, incluyendo personal exclusivo para el seguimiento de materiales, logrando así identificar índices y causas del desperdicio. En el caso peruano, Galarza Meza (2011) desarrolló una investigación orientada a reducir el consumo de materiales con base en su costo y volumen, aportando resultados relevantes para la gestión de residuos.

En 1992, Lauri Koskela adaptó los principios del Lean Manufacturing al sector de la construcción, dando origen a la filosofía Lean Construction (Andreas & Cuadra, 2021). Esta metodología se enfoca en minimizar las pérdidas y optimizar los procesos durante la ejecución de obras, promoviendo la creación de valor.

La implementación de Lean ha generado resultados positivos en distintos contextos. En España, la aplicación del Last Planner System ha mejorado la programación y la reducción del desperdicio (Díaz et al., 2014); en Estados Unidos, se han reportado ahorros del 20 % en costos (Restrepo Ramírez, 2020); y en China, la construcción del Hotel T-30 en tan solo 15 días evidenció la eficiencia de la planificación Lean (Ballard, 2016). En Colombia, proyectos como Hidroituango y El Quimbo optimizaron costos mediante la adopción de estrategias Lean (Restrepo, 2020).

Estudios más recientes también destacan sus beneficios. Gómez Ríos (2022) señala que la filosofía Lean facilita la cuantificación de desperdicios en proyectos de vivienda, aumentando la eficiencia operativa. En Bogotá, se ha observado una mejora en la gestión de riesgos tras su implementación, aunque persisten retos asociados a la capacitación del personal (Caballero O. et

al., 2018). Además, una revisión académica de publicaciones entre 2017 y 2021 concluyó que Lean Construction permite entregar proyectos “con mayor rapidez, mejor satisfacción del cliente y menos errores” (Muñoz, 2022).

El desperdicio de materiales representa una problemática de carácter global, con consecuencias económicas, sociales y ambientales significativas. La filosofía Lean Construction ha mostrado un alto potencial para reducir estos impactos, aunque aún enfrenta barreras de implementación, especialmente en contextos locales como el del municipio de Ocaña. Por esta razón, la presente investigación busca identificar los factores que generan desperdicio en proyectos de construcción residencial en Ocaña y proponer estrategias de mejora a partir del enfoque Lean.

2.3 Marco Conceptual

A continuación, se presenta la definición de los conceptos que se tendrán en cuenta para el desarrollo de esta investigación:

Industria de la construcción: Se refiere al conjunto de organizaciones, procesos y actores involucrados en la ejecución de proyectos de edificación e infraestructura. Abarca desde empresas constructoras hasta proveedores, profesionales técnicos y mano de obra directa e indirecta. Es un sector clave para el desarrollo económico por su impacto en el empleo, la inversión y el Producto Interno Bruto (Silva & Otoyá, 2017).

Edificación residencial: Comprende todas las construcciones de uso habitacional, ya sean viviendas unifamiliares, bifamiliares o multifamiliares. Estos proyectos deben cumplir con normativas de seguridad estructural, resistencia sísmica y servicios básicos (agua, saneamiento, energía y telecomunicaciones).

Materiales de construcción: Son los insumos utilizados para ejecutar procesos constructivos. Se clasifican en naturales (arena, grava, piedra), procesados (cemento, ladrillo, acero) y compuestos (como el concreto). El concreto, por ejemplo, es una mezcla de cemento, agua, arena y grava, ampliamente utilizado por su resistencia, durabilidad y facilidad de producción.

Desperdicio: Se entiende como cualquier material que no cumple su función en el proceso para el cual fue adquirido, afectando tanto la eficiencia como el presupuesto de obra. Según Restrepo Ramírez (2020), el desperdicio es “toda actividad que gasta o absorbe recursos, pero que al final no crea valor”, impidiendo cumplir con los objetivos de costo, calidad y tiempo.

Lean Construction: Es una filosofía de gestión adaptada del Sistema de Producción Toyota al sector de la construcción, gracias a los aportes de Lauri Koskela en 1992. Se enfoca en maximizar el valor percibido por el cliente y eliminar desperdicios en cada fase del proyecto (Emmanue, 2023). Aunque sus principios se desarrollan a nivel conceptual, ha dado origen a múltiples herramientas que permiten reducir pérdidas materiales durante la ejecución de obras (Hincapié et al., 2020).

2.4 Marco Teórico

Lean Construction es una filosofía de gestión que busca optimizar los procesos constructivos mediante la eliminación sistemática de desperdicios, mejorando el flujo de trabajo y la colaboración entre los actores del proyecto. Su origen se remonta a la adaptación de los principios del sistema de producción Toyota (Lean Manufacturing) al contexto constructivo, realizada por Lauri Koskela en 1992. Su propósito central es entregar proyectos con mayor eficiencia, menor desperdicio y más valor para el cliente.

A diferencia de los enfoques tradicionales que suelen enfocarse únicamente en cronogramas y presupuestos, Lean Construction promueve una visión sistémica, integral y colaborativa del proceso constructivo. Esta filosofía propone una planificación más flexible, un uso más eficiente de los recursos y una mejora continua orientada a maximizar el valor y reducir actividades que no lo generan. Para lograrlo, se apoya en herramientas específicas que permiten identificar, analizar y corregir causas de ineficiencia en obra. Entre las principales herramientas utilizadas en esta investigación, se destacan:

Diagrama de Ishikawa (Causa – Efecto)

También conocido como diagrama de espina de pescado, fue desarrollado por Kaoru Ishikawa en 1968. Es una herramienta visual que permite identificar, clasificar y analizar las causas que provocan un problema dentro de un proceso. En construcción, su utilidad ha sido

ampliamente reconocida para el análisis de desperdicios, ya que permite agrupar causas en categorías como: materiales, métodos, mano de obra, herramientas, entorno y gestión (Formoso, 1999; Emmanue, 2023).

A continuación, se presentan los pasos para su elaboración:

1. Definir el problema central (por ejemplo: “pérdida de mezcla de concreto”).
2. Establecer categorías principales.
3. Identificar subcausas mediante lluvia de ideas o revisión documental.
4. Representar gráficamente las relaciones causa-efecto.

Su efectividad radica en su capacidad para organizar causas múltiples y complejas de forma estructurada, facilitando la identificación de causas raíz (Hincapié et al., 2020; Cabrera & González, 2018).

Metodología de los 5 ¿Por Qué?

Esta técnica de análisis causa-raíz fue desarrollada por Sakichi Toyoda como parte del sistema de producción de Toyota. Consiste en repetir la pregunta “¿Por qué?” al menos cinco veces, con el fin de profundizar en la comprensión de un problema hasta llegar a su causa fundamental. Es especialmente útil cuando el problema es evidente, pero sus causas no lo son (Cabrera & González, 2018).

A continuación, se presentan los pasos para su elaboración:

1. Definir claramente el problema.
2. Reunir un equipo de personas relacionadas en el proceso.
3. Preguntar cinco veces “¿Por qué?” de manera secuencial y lógica.
4. Registrar el análisis en un esquema de árbol o tabla.

Esta herramienta es especialmente efectiva en obras donde los errores tienden a repetirse y es necesario intervenir en los factores estructurales y no solo en las consecuencias.

Clasificación de desperdicios según Lean Construction

La filosofía Lean define ocho tipos de desperdicio que reducen el valor del producto final. Conocerlos permite detectar y clasificar los factores que generan pérdidas en obra:

1. Sobreproducción: Ejecución innecesaria que genera inventarios no deseados.
2. Tiempo de espera: Retrasos por falta de coordinación o materiales.
3. Transporte innecesario: Movilización de materiales sin propósito justificado.
4. Exceso de inventario: Acumulación de insumos que genera deterioro o pérdida.
5. Movimientos innecesarios: Desplazamientos ineficientes del personal.
6. Defectos o retrabajo: Repetición de actividades por errores o fallas de calidad.

7. Subutilización del talento humano: Falta de aprovechamiento del conocimiento y capacidades del personal.
8. Sobreprocesamiento: Uso de procesos o materiales innecesarios debido a fallas previas o ausencia de planificación.

Además, la implementación de herramientas Lean Construction permite optimizar los procesos productivos, reducir desperdicios y mejorar la coordinación en obra. A continuación, se describen las herramientas utilizadas en este trabajo:

Last Planner System (LPS): Desarrollado por Glenn Ballard, el Last Planner System es una herramienta de planificación colaborativa que busca mejorar la fiabilidad de los cronogramas, fomentar la coordinación entre actores y reducir retrasos mediante compromisos claros, reuniones periódicas y control visual. Su enfoque participativo ha demostrado ser eficaz en la mejora del flujo de trabajo y la reducción de incertidumbres propias del entorno constructivo.

Justo a Tiempo (JIT): El sistema Justo a Tiempo busca disponer los materiales en el momento exacto de su uso, evitando sobre acopios, deterioros y transporte innecesario. En proyectos de construcción en Colombia, Restrepo Ramírez (2020) documentó una reducción de hasta el 20 % en los costos operativos gracias al control eficiente del ingreso de materiales a obra.

Metodología 5S: Este sistema de origen japonés promueve entornos de trabajo organizados, limpios y estandarizados a través de cinco principios: Seiri (clasificar), Seiton (ordenar), Seiso (limpiar), Seiketsu (estandarizar) y Shitsuke (sostener). Su aplicación en la construcción contribuye a eliminar materiales innecesarios, mejorar la seguridad y optimizar desplazamientos. Hincapié et al. (2020) destacan su efectividad en proyectos de infraestructura para mejorar la logística interna y reducir pérdidas por almacenamiento deficiente.

Estandarización de procesos: Consiste en establecer procedimientos técnicos claros y repetibles para tareas específicas, lo que reduce la variabilidad, los errores y el sobreprocesamiento. Ballard (2016) señala que la estandarización es fundamental para mantener la calidad, especialmente en etapas críticas como el armado de estructuras o el control de calidad del concreto.

Ciclo PDCA (Planear–Hacer–Verificar–Actuar): El ciclo PDCA, desarrollado por W. Edwards Deming, constituye una de las bases de la mejora continua y se integra de manera natural en la filosofía Lean Construction. Su aplicación consiste en planear (Plan) las actividades de acuerdo con objetivos claros, ejecutar (Do) las tareas bajo los lineamientos definidos, verificar (Check) los resultados frente a los indicadores establecidos y actuar (Act) para estandarizar los logros o implementar ajustes que corrijan desviaciones. Diversos autores (Ballard, 2016; Hincapié et al., 2020) destacan que este ciclo garantiza un aprendizaje constante en los proyectos, dado que cada iteración genera retroalimentación para el proceso constructivo.

La integración de estas herramientas dentro de la filosofía Lean Construction permite establecer un marco de actuación que responde a distintos contextos de obra y a los diferentes tipos de desperdicio identificados en campo y validados en la literatura. En la Tabla 2 se resumen las condiciones recomendadas para su aplicación y el tipo de pérdidas que contribuyen a reducir, lo que facilita comprender la pertinencia de cada herramienta en relación con los ocho desperdicios definidos por Lean Construction y refuerza la coherencia del marco teórico con los objetivos de esta investigación.

Tabla 2

Herramientas Lean, condiciones de aplicación y tipos de desperdicio que reducen

Herramienta Lean	Condiciones de uso recomendadas	Tipo de desperdicio que reduce (según Lean Construction)
Last Planner System (LPS)	Proyectos con alta variabilidad de cronogramas y múltiples actores	Tiempos de espera, sobreprocesamiento, falta de coordinación
Justo a Tiempo (JIT)	Obras con problemas de acopio y logística de suministros	Exceso de inventario, transporte innecesario
Metodología 5S	Espacios reducidos y con problemas de orden y limpieza	Movimientos innecesarios, exceso de inventario, defectos
Value Stream Mapping (VSM)	Procesos repetitivos con múltiples flujos de materiales	Transporte innecesario, sobreprocesamiento
Estandarización de procesos	Actividades críticas que requieren uniformidad	Defectos, retrabajos, variabilidad
Capacitación operativa	Personal con alta rotación o limitado conocimiento técnico	Subutilización del talento humano, defectos, sobreprocesamiento

Ciclo PDCA (Plan– Do–Check–Act)	Procesos que requieren retroalimentación continua y ajustes en función de resultados	Defectos, retrabajos, sobreprocesamiento, subutilización del talento humano
------------------------------------	--	---

2.5 Marco Legal

En el desarrollo del trabajo de investigación, se identifican una normativa, que no aborda directamente el desperdicio de materiales de construcción, pero si establece lineamientos para el uso eficiente de los recursos naturales y medio ambiente. Esta normativa se relaciona directamente con la problemática del desperdicio, ya que promueven practicas sostenibles y de manejo de recursos durante los procesos constructivos.

Nacional:

- *Constitución Política de Colombia de 1991*: Considerando lo establecido en artículos 79 y 80: el estado debe proteger, prevenir, controlar y planificar la diversidad, integridad y aprovechamiento de los recursos naturales.
- *Ley 99 de 1993*: Dispone la creación del Ministerio del Medio Ambiente en Colombia, el cual promueve el desarrollo sostenible y la protección de los recursos naturales.

- *Resolución 472 de 2017*: Emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y teniendo en cuenta la producción de 22.270.338 toneladas de residuos Construcción y demolición en el año 2011, regula la gestión de RCD, clasificándolos y estableciendo obligaciones para su disposición adecuada.
- *Resolución 1257 de 2021*: Emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible de Colombia, la cual modifica y a su vez complementa la Resolución 472 de 2017, cuyo objetivo es establecer las disposiciones normativas para fortalecer la economía circular y mejorar el aprovechamiento de residuos del sector de la construcción.
- *Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible (CONPES 3874 de 2016)*: Incentiva la implementación de modelos de eficiencia en el uso de materiales en el sector de la construcción.

Internacional:

- *Declaración de Rio (1992)*: Adoptada en la Cumbre de la Tierra en Rio de Janeiro, establece 27 principios para que los estados desarrollen un modelo de desarrollo sostenible.
- *Acuerdo de París (2015)*: Tratado internacional adoptado en la COP21, que está centrado en el cambio climático, incentiva al buen uso de los materiales y una eficiente

gestión de recursos naturales, que incentiva a prácticas sostenibles a todos los sectores productivos.

- *ISO 14001 Sistema de Gestión Ambiental*: contribuye a la sostenibilidad aplicable a diversos sectores productivos, siendo clave el control de residuos uso responsable de los materiales y mitigación de impactos ambientales.

Aunque la normativa nacional e internacional no regula de manera explícita la cuantificación del desperdicio de materiales en construcción, sí establece lineamientos que pueden traducirse en indicadores prácticos para orientar la gestión en obra. Por ejemplo, la Resolución 472 de 2017 y la 1257 de 2021 abren la posibilidad de definir metas cuantificables de aprovechamiento de RCD superiores al 30 %, o indicadores de frecuencia de auditorías de desperdicio en proyectos residenciales. Asimismo, la aplicación de sistemas de gestión ambiental como la ISO 14001 permite medir el porcentaje de reutilización de materiales o la reducción en toneladas de residuos enviados a disposición final.

3 Diseño Metodológico

3.1 Tipo de investigación

El presente estudio adopta un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo) con alcance descriptivo, orientado a identificar y analizar las causas de desperdicio de materiales en proyectos de construcción residencial en el municipio de Ocaña. La fase cualitativa permitió identificar y analizar causas mediante la observación directa en obra y validación con literatura especializada, mientras que la fase cuantitativa se centró en la estimación de los niveles de desperdicio a través de índices de medición y el análisis probabilístico PERT. La elección de un enfoque mixto responde a la necesidad de comprender fenómenos complejos en contextos reales, permitiendo interpretar no solo los datos observables, sino también los factores subyacentes que inciden en el comportamiento del proceso constructivo, y complementando dicho análisis con cálculos numéricos que permiten dimensionar el nivel de impacto de los desperdicios.

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población

La población objeto de estudio está constituida por los materiales empleados en procesos constructivos de proyectos de edificación residencial ejecutados por empresas constructoras ubicadas en el casco urbano del municipio de Ocaña, Norte de Santander. Se priorizaron las

obras desarrolladas por empresas formalmente constituidas, debido a que cuentan con mayor organización técnica, documentación estructurada y procesos más sistemáticos, lo cual facilita un análisis riguroso y representativo.

3.2.2 Muestra

Se establece como unidad de análisis cada actividad o elemento constructivo vinculado al uso de un material representativo. Esto significa que el estudio no se centra en el proyecto de construcción residencial en su conjunto, sino en actividades específicas donde se evidencian los principales riesgos de desperdicio.

El muestreo empleado fue no probabilístico, intencional por conveniencia, debido a que los proyectos se seleccionaron en función de su pertinencia y accesibilidad. El tamaño de muestra se definió en un mínimo de $n \geq 3$ observaciones independientes por material y actividad, criterio suficiente para un estudio de carácter exploratorio. Este número permite estimar la media con un nivel aceptable de confiabilidad, en equilibrio con la viabilidad operativa del trabajo de campo (Formoso, 1999; Standard, 1997).

3.3 Técnicas e Instrumentos de recolección de la información.

La recolección de información se desarrolló mediante dos técnicas principales: la observación directa en obra y la revisión de literatura especializada. La observación permitió

registrar de forma sistemática las condiciones reales de uso de materiales, mientras que la literatura aportó referentes metodológicos y conceptuales para contrastar y validar los hallazgos de campo.

El instrumento central fue el Formato 001, presentado en el Apéndice A, diseñado para documentar en campo las causas de desperdicio asociadas a cada actividad constructiva observada. Dicho formato incluyó apartados de identificación de obra, actividad, material empleado y causa observada, lo que permitió garantizar uniformidad en el registro de información.

3.4 Análisis de la Información

El análisis de la información se desarrolló en dos fases complementarias.

- En la primera, se organizaron y consolidaron los datos provenientes de la observación en obra y de la revisión documental, lo que permitió identificar patrones de desperdicio y compararlos con referentes académicos previos.
- En la segunda, se aplicaron cálculos cuantitativos para estimar los niveles de desperdicio por material y actividad, empleando el Índice de Desperdicio (ID) y el método PERT, que se calcularon a partir de las siguientes ecuaciones:

Cálculo del Índice de Desperdicio (ID):

$$Id = \frac{Cu - Ct}{Ct} \times 100\%$$

Donde:

- Id: Índice de desperdicio.
- Ct: Cantidad teórica del material.
- Cu: Cantidad utilizada en obra del material.

El resultado expresa el porcentaje de desperdicio de material en la actividad.

Estimación de escenarios mediante PERT:

$$e = \frac{a + 4b + c}{6}$$

Donde:

e = valor esperado.

a = valor optimista.

b = valor probable

c = valor pesimista

La fórmula permite ponderar los tres escenarios, asignando mayor peso al valor más probable, y ofrece una visión ajustada a la variabilidad observada en campo.

3.4.1 Amenazas a la validez y medidas de mitigación

Para la investigación, se reconocen como principales amenazas a la validez de los resultados:

- Amenaza: Errores de medición, asociados a diferencias en criterios o instrumentos de registro.

Medida: estandarización de unidades y verificación cruzada de datos.

- Amenaza: Restricción en la selección de obra, al trabajar únicamente con proyectos que autorizaron acceso.

Medida: inclusión de diferentes tipologías de proyectos de construcción residencial (unifamiliar, bifamiliar y multifamiliar) para mejorar la representatividad.

- Condiciones externas, como el clima, que pueden interrumpir la ejecución de las actividades constructivas.

Medida: registro en bitácora de las incidencias y repetición de observaciones en días posteriores.

Con estas consideraciones, el análisis metodológico asegura transparencia en los cálculos y confiabilidad en los resultados, fortaleciendo la coherencia entre los objetivos de la investigación y las evidencias presentadas en los capítulos posteriores.

4 Resultados

4.1 Identificar las principales causas del desperdicio de materiales representativos en procesos constructivos en proyectos de construcción residencial en Ocaña, a través de la recopilación de información en campo y revisión de literatura para comprender los orígenes y factores de incidencia.

4.1.1 Caracterización del proyecto de construcción residencial.

Para garantizar la claridad en la ejecución de la investigación, resulta necesario caracterizar la tipología de proyecto de construcción residencial que será objeto de estudio. En el casco urbano de Ocaña, predomina los proyectos de construcción residencial cuya distribución arquitectónica consiste en incluir una sala, comedor, cocina, dos o tres habitaciones, baños (privado y social), zona de labores y garaje. La estructura se construye con pórticos de concreto reforzado y cimentación mediante zapatas aisladas, mientras que las losas entre pisos son aligeradas con casetones de madera y tela, armadas en una sola dirección. Los muros de cerramiento se levantan con ladrillo macizo de arcilla cocido y fabricado localmente, mientras que los muros divisorios con Bloque H-10; ambos se adecuan con pañete en mortero 1 : 5, estuco y pintura; los pisos generales y los recubrimientos de baños se enchapan en cerámica, la ventanería es metálica y las puertas, de madera. Así mismo, el proyecto de construcción residencial dispone de redes internas de acueducto, alcantarillado, energía eléctrica y telecomunicaciones.

4.1.2 Selección de materiales representativos.

Con el fin de orientar adecuadamente el desarrollo de la investigación, se procedió a identificar aquellos materiales cuyo impacto en el presupuesto de obra es significativo y que, además, han sido objeto de análisis en estudios previos. A partir de esto, se consideraron dos premisas fundamentales que guiaron la selección: el peso económico de los materiales dentro del presupuesto y la evidencia documental obtenida a través de la revisión de literatura. esta revisión se centró en estudios que abordaran investigaciones similares o con alto grado de afinidad temática.

Selección por peso económico.

De acuerdo con la caracterización del proyecto de construcción residencial en Ocaña, se presenta en la Tabla 3 el resumen de los costos directos por capítulos de un proyecto, los cuales fueron tomados por un diseño de proyecto de construcción residencial proporcionado por una constructora del municipio y se realiza con precios actualizados de Análisis de Precio Unitario (APU) al presente año. Cabe destacar, que los APU fueron realizados utilizando los materiales y rendimientos de referencias a la base de datos de Construprecios, mientras que los valores de material, mano obra, equipos y herramientas fueron ajustados con precios reales obtenidos en el municipio. El costo directo de cada capítulo corresponde al valor unitario (APU) por la cantidad de la actividad constructiva.

Tabla 3

Costos directos por capítulos de obra en un proyecto de construcción residencial.

Ítem	Capítulo	Costo
1	Preliminares	\$ 3,807,380
2	Movimiento de tierras	\$ 2,131,790
3	Estructura en concreto	\$ 39,167,120
4	Aceros de refuerzo	\$ 42,544,782
5	Muros	\$ 29,613,425
6	Pisos y enchapes	\$ 16,637,383
7	Cubierta	\$ 3,838,450
8	Carpintería madera	\$ 6,187,500
9	Carpintería Metálica	\$ 7,122,000
10	Aparatos	\$ 8,950,250
11	Redes de servicios	\$ 7,400,000
12	Otros	\$ 1,200,000
TOTAL		\$ 168,600,080

A partir del análisis de costo directos de los capítulos, se procede a realizar un análisis de Pareto (Regla 80/20) para identificar aquellos capítulos cuya frecuencia acumulada es igual o mayor a 80% del costo directo total (Wuni, 2022). Para realizar el diagrama que se presenta en la Figura 1, se organizan los capítulos de mayor a menor costo directo, se calcula la frecuencia individual y la acumulada, como se presenta en la Tabla 4 y se procede a graficar para identificar visualmente las actividades.

Tabla 4*Análisis de Pareto del costo directo por capítulo de obra*

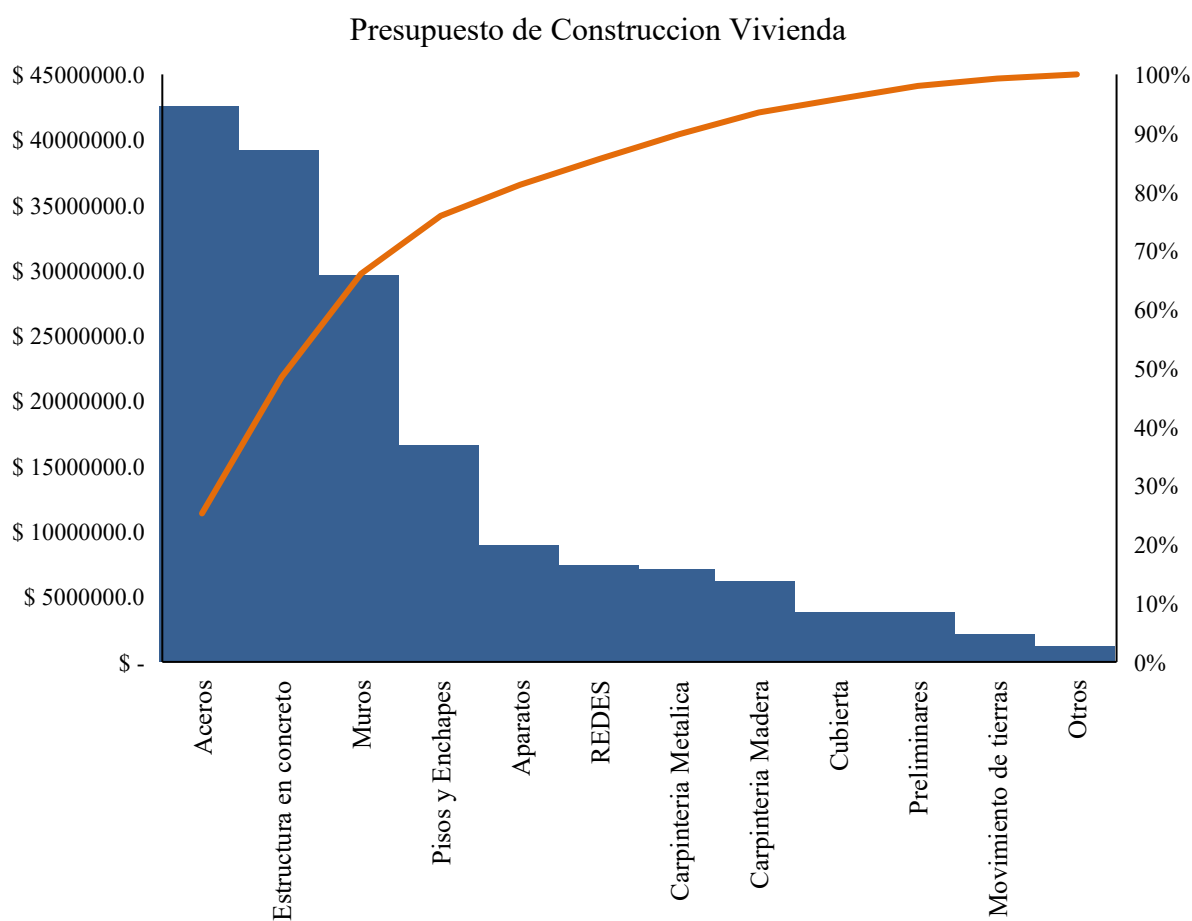
Ítem	Capítulo	Costo	Frecuencia	Frec. Acum
4	Aceros de refuerzo	\$ 42,544,782	25.23%	25.23%
3	Estructura en concreto	\$ 39,167,120	23.23%	48.46%
5	Muros	\$ 29,613,425	17.56%	66.03%
6	Pisos y Enchapes	\$ 16,637,383	9.87%	75.90%
10	Aparatos	\$ 8,950,250	5.31%	81.21%
11	REDES	\$ 7,400,000	4.39%	85.59%
9	Carpintería metálica	\$ 7,122,000	4.22%	89.82%
8	Carpintería Madera	\$ 6,187,500	3.67%	93.49%
7	Cubierta	\$ 3,838,450	2.28%	95.77%
1	Preliminares	\$ 3,807,380	2.26%	98.02%
2	Movimiento de tierras	\$ 2,131,790	1.26%	99.29%
12	Otros	\$ 1,200,000	0.71%	100.00%
			100%	

De acuerdo con el análisis anterior, se identifica que los aceros, la estructura en concreto, muros y pisos /enchapes suman alrededor del 75.90 % del costo directo de la construcción de la obra. Por tanto, bajo el principio de Pareto (80/20) resulta más eficiente dirigir el control y análisis a los costos que contemplan la mayor parte del gasto, ya que cualquier desviación en estos, genera un incremento en el costo directo total. Además, estos capítulos presentan alta variabilidad técnica y elevado riesgo de desperdicio debido a su gran volumen y alto valor unitario (Keniwe et al., 2025). Por lo tanto, delimitar el estudio a los capítulos de acero, estructura en concreto reforzado, muros, pisos y enchapes permite abordar la principal fuente de sobre costos y generación de residuo.

En cuanto al capítulo de aparatos sanitarios, griferías y accesorios, su peso presupuestal ronda el 5.31 % y, a diferencia de los capítulos anteriores, no implican procesos de fabricación en obra, se adquieren como productos terminados y sólo se instalan. Esto reduce drásticamente el riesgo de desperdicio, limitado a daños puntuales o piezas defectuosas que el proveedor suele reemplazar.

Figura 1

Diagrama de Pareto del costo directo por capítulo de obra



Teniendo en cuenta los capítulos previamente seleccionados, la tabla 5 presenta las actividades que los conforman, especificando para cada una su unidad de medida, cantidad y valor unitario según el Análisis de Precios Unitarios (APU).

Tabla 5

Detalle de actividades, unidades y cantidades por capítulo seleccionado

Ítem	Descripción	Und	Valor und	Cantidad
3	Estructura en concreto			
3.1	Solado 5cm	m2	\$ 34,599	21.60
3.2	Zapatas	M3	\$ 586,782	7.65
3.3	Vigas de Cimentación 0.30x0.30 sin refuerzo	ml	\$ 892,011	6.99
3.4	Columnas A<1600cm2	m3	\$ 1,301,461	5.90
3.5	Placa aligerada casetón removible	m3	\$ 182,474	109.67
4	Aceros de refuerzo			
4.1	Aceros	kg	\$ 8,812	4709.00
4.2	mallá electrosoldada	m2	\$ 9,555	109.67
5	Muros			
5.1	Muro en Ladrillo Macizo	M2	\$ 80,663	55.00
5.2	Muro en bloque H10	M2	\$ 57,056	172.20
5.3	Pañete liso muros	M2	\$ 20,712	399.40
5.4	Estuco y pintura en vinilo	M2	\$ 21,690	326.40
6	Pisos y Enchapes			
6.1	Antepiso e=0,05	M2	\$ 35,894	106.00
6.2	Piso - Pared cerámica baño	M2	\$ 76,400	25.60
6.3	Piso patio	m2	\$ 76,400	14.88
6.4	Piso cerámico	m2	\$ 97,400	70.00
6.5	Piso exterior anden + parqueadero	m2	\$ 97,400	30.00

Posteriormente, se identificaron, de acuerdo con cada APU, los materiales requeridos y se calcularon los costos totales de los materiales involucrados en todas las actividades constructivas, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Costo del material} = \text{Cantidad de obra} \times \text{Cantidad de material requerido en el APU} \times \text{valor unitario del material}$$

En la Tabla 6 se presentan los resultados consolidados, correspondientes al costo total por cada material constructivo significativo.

Tabla 6

Costo total por material

Ítem	Materiales	Costo
1	Aceros	\$ 32,138,925
2	Alambre negro	\$ 2,119,050
3	Bloque	\$ 5,234,880
4	Boquilla	\$ 702,400
5	Casetón	\$ 1,930,192
6	Cerámica	\$ 6,425,160
7	Concreto 14	\$ 437,756
8	Concreto 17.5 Mpa	\$ 2,386,749
9	Concreto estructural	\$ 15,931,398
10	Estuco	\$ 1,501,440
11	Ladrillos	\$ 2,772,000
12	Lijas	\$ 48,960
13	Malla	\$ 978,805

14	Mortero 1.5	\$ 2,582,720
15	Mortero 1:4	\$ 1,837,788
16	Pegacor	\$ 295,008
17	Pintura	\$ 2,444,736
	Total	\$ 79,767,968

A partir del resumen de todos los materiales, se procede a realizar el Análisis de Pareto y (regla 80/20) para identificar aquellos materiales cuya frecuencia acumulada es igual o mayor a 80% del costo directo total. Para realizar el diagrama que se presenta en la Figura 2, se organizan los materiales de mayor a menor costo, se calcula la frecuencia individual y la acumulada, como se presenta en la tabla 7 y se procede a graficar para identificar visualmente las actividades.

Tabla 7

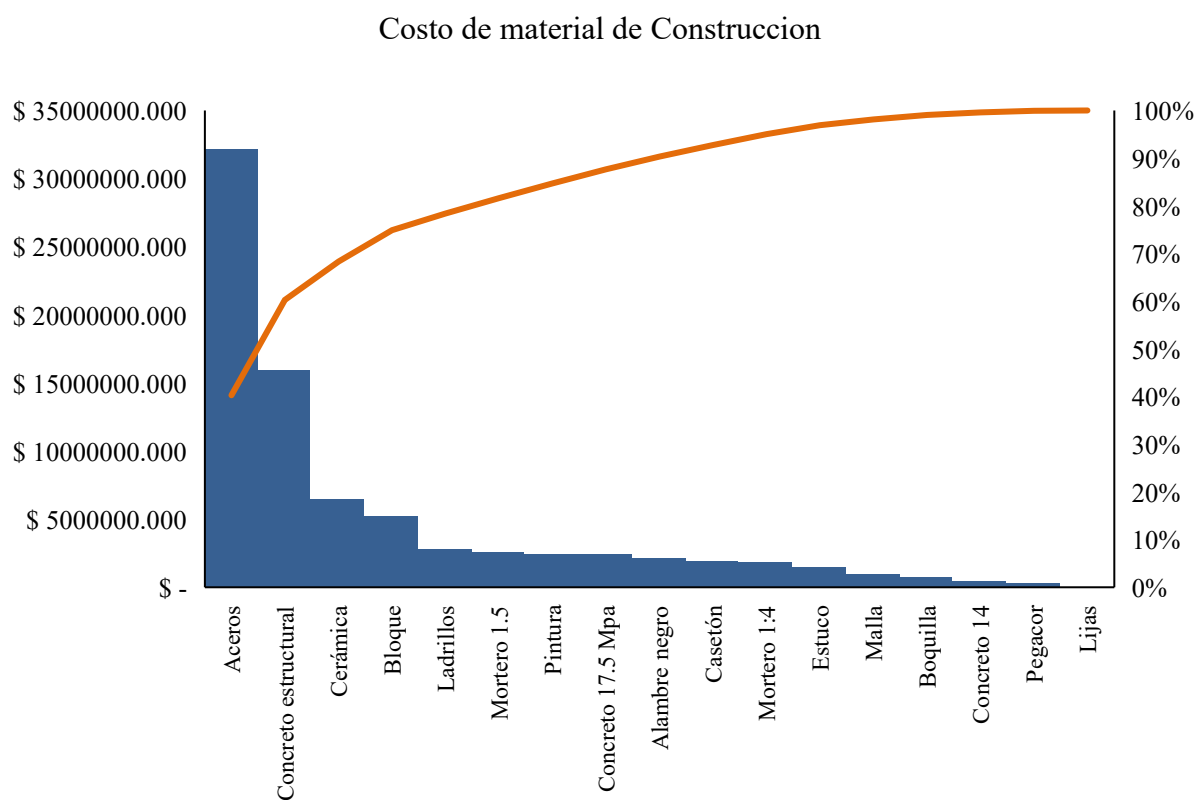
Análisis de Pareto del costo de materiales de construcción.

Material	Costo	Frecuencia	Frec. Acum
Aceros	\$ 32,138,925	40.29%	40.29%
Concreto estructural	\$ 15,931,398	19.97%	60.26%
Cerámica	\$ 6,425,160	8.05%	68.32%
Bloque	\$ 5,234,880	6.56%	74.88%
Ladrillos	\$ 2,772,000	3.48%	78.36%
Mortero 1.5	\$ 2,582,720	3.24%	81.59%
Pintura	\$ 2,444,736	3.06%	84.66%
Concreto 17.5 Mpa	\$ 2,386,749	2.99%	87.65%
Alambre negro	\$ 2,119,050	2.66%	90.31%
Casetón	\$ 1,930,192	2.42%	92.73%
Mortero 1:4	\$ 1,837,788	2.30%	95.03%

Estuco	\$ 1,501,440	1.88%	96.91%
Malla	\$ 978,805	1.23%	98.14%
Boquilla	\$ 702,400	0.88%	99.02%
Concreto 14	\$ 437,756	0.55%	99.57%
Pegacor	\$ 295,008	0.37%	99.94%
Lijas	\$ 48,960	0.06%	100.00%
Total	\$ 79,767,968		

Figura 2

Diagrama de Pareto del costo de materiales de construcción.



De acuerdo con el análisis de Pareto se puede identificar que el costo total de materiales se concentra en 6 materiales principales: Aceros de refuerzo, Concreto estructural, Cerámicas, Bloque H-10 y ladrillo macizo. Estos materiales, acumulan aproximadamente 78.36% del valor total. Por el contrario, los demás materiales representan de manera individual menos del 3 % y, en conjunto, apenas el 21.64% restante, por lo que implica una menor incidencia económica. En la tabla 8 se presentan los materiales representativos según su peso económico en un presupuesto.

Tabla 8

Selección de materiales representativos para el análisis de desperdicio según peso económico

Material	Unidad
Aceros	kg
Concreto estructural	m ³
Cerámica	m ²
Bloque H-10	und
Ladrillo macizo	und

Selección por revisión de literatura.

Con el objetivo de fortalecer el análisis de la información desde el punto de vista de la revisión de literatura, se consultaron trabajos de investigación que presentaran similitudes metodológicas o temáticas con el presente estudio, con el fin de identificar las listas de materiales representativos por cada autor.

Revisión 1. (Galarza, 2014) realiza una revisión de la estructura de costos de dos obras de estudio (A y B), mediante el diagrama de Pareto, en el cual se identifica que el hormigón (concreto) y el acero, concentran la mayor parte del presupuesto de la etapa de estructuras, mientras que, en la fase de albañilería, el cemento y el ladrillo son los rubros de mayor peso económico y, además, son los que más volumen de desmonte generan al final de la jornada . Con ese doble criterio incidencia en el costo + volumen de residuos se definieron cuatro materiales representativos:

- Concreto y acero: dominan el costo directo de la estructura y, si se utiliza mayor cantidad, el costo del proyecto es más caro.
- Ladrillo y cemento: están presentes en la mayor parte del escombros en la etapa de albañilería.

Revisión 2. Bautista y Romero (2019) abordan desde el presupuesto establecido para la construcción del Edificio de Posgrados de la UPTC, los materiales que, por su costo, tienen mayor impacto en el proyecto. Para sustentar la selección contrastaron los índices de desperdicio hallados en estudios clásicos (Skoyles, Pinto, Picchi, Soibelman, entre otros). Con esa doble característica de incidencia económica y evidencia previa de pérdidas definieron los siguientes materiales representativos:

- Tubería PVC $\frac{1}{2}$ 4 "
- Concretos estructurales (cimentación, placas, elementos verticales)

- Ladrillo común
- Bloque N.º 5
- Malla electrosoldada
- Aceros

Revisión 3. (Ashqui Alulema & Pulgar Sánchez, 2017) analizaron los materiales que iban a medirse a partir del volumen real de residuos que quedaban en obra, mediante una inspección visual de los sitios de depósito de escombros y el peso económico dentro del presupuesto, mediante un análisis de costos. Teniendo en cuenta ambos criterios, los autores seleccionaron los siguientes materiales:

- Sacos de cemento (Concretos)
- Bloque N.º 15 (mampostería)
- Cerámica de piso 30×30 cm
- Hormigón (in situ)

Revisión 4. Chávez (2016) realiza un muestreo en tres viviendas unifamiliares ubicadas en Cajamarca y Baños del Inca, enfocándose en partidas críticas como muros de albañilería, columnas y vigas de cimentación. Estas actividades fueron seleccionadas por su recurrencia en todo tipo de obra y por ser señaladas en la literatura según autores como Skoyles, Soibelman y Picchi, como puntos donde se generan mayores desperdicios.

Las observaciones preliminares en campo permitieron identificar como materiales representativos aquellos con mayor posibilidad de desperdicio durante la ejecución:

- Madera (utilizada en encofrado de columnas)
- Ladrillo (en muros divisorios)
- Mortero (para el pegado de ladrillo)
- Concreto (empleado en el vaciado de columnas)

Selección final de materiales representativos.

Para definir los materiales representativos que serían objeto de medición en esta investigación, se agrupó los listados obtenidos de las dos premisas establecidas: peso económico en el presupuesto y la revisión bibliográfica de estudios similares. Previamente, se realizó una homologación de las denominaciones usadas por distintos autores con los términos empleados en el contexto local. A cada material se le asignó una Frecuencia de Coincidencia (FC), equivalente al número de listas en las que aparece, tal como se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9

Análisis de coincidencia de materiales en literatura y presupuesto

Material	Peso económico	Rev. 1	Rev. 2	Rev. 3	Rev. 4	FC
Acero	1	1	1	0	0	3
Concreto estructural	1	0	1	1	1	4
Cerámica	1	0	0	1	0	2

Bloque H-10	1	0	1	1	1	4
Ladrillo macizo	1	0	1	0	0	2
Mortero 1:4	0	1	0	0	1	2
Concreto premezclado	0	1	0	0	0	1
Ladrillo estructural	0	1	0	0	0	1
Tubería PVC ½-4 "	0	0	1	0	0	1
Malla electrosoldada	0	0	1	0	0	1
Madera para encofrado	0	0	0	0	1	1

Se seleccionaron como materiales representativos, aquellos cuya FC es mayor o igual a 3, valor que asegura un consenso mínimo del 60 % entre las fuentes y sigue la lógica de análisis de concurrencia. Este procedimiento determino la muestra de investigación, definida por los siguientes materiales:

- Aceros.
- Concreto estructural.
- Bloque H-10.

Es importante destacar, que materiales como la cerámica y ladrillo macizo se mantienen como “materiales de interés secundario” debido a su alto impacto económico, aunque su FC fue de 2.

Teniendo ya definidos los materiales objeto de análisis en esta investigación, se procede a determinar las actividades constructivas específicas a las cuales se les hará seguimiento con el fin de identificar y analizar los niveles de desperdicio asociados. Estas actividades son:

- Armado de acero y vaciado de concreto de zapatas
- Armado de acero y vaciado de concreto de columnas.
- Armado de acero y vaciado de concreto de losa aligerada.
- Construcción de muros en mampostería con bloque H-10.

4.1.3 Selección de proyectos de construcción residencial.

Para la selección de los proyectos de construcción residencial donde se realizaría el trabajo de campo, se diseñó un proceso de selección de proyectos basado en reconocimiento in situ, ejecutado con el apoyo de estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Francisco de Paula Santander, Seccional Ocaña. El procedimiento constó de las siguientes fases:

1. Reconocimiento visual preliminar:

Con el apoyo de los estudiantes de Ingeniería Civil se recorrieron los barrios del casco urbano, registrando únicamente las obras residenciales en ejecución dirigidas por empresas constructoras, y no teniendo en cuenta las ejecutadas por particulares, además que coincidieran

con la tipología de proyectos de construcción residencial definida en esta investigación. Como resultado de esta inspección se identificaron 15 proyectos activos.

Es importante destacar, que no se utilizó para esta labor fuentes secundarias como licencias de construcción e imágenes satelitales y se eligió la observación directa debido a que permite verificar en tiempo real la presencia de frentes de trabajo activos, garantizando que los proyectos seleccionados estén efectivamente en ejecución durante el tiempo de esta investigación.

2. Aplicación de criterios de inclusión

A los 15 proyectos preliminares se les aplicaron los criterios que se presentan en la Tabla 10, del cual se determinaron siete (7) obras distribuidas en siete lugares de Ocaña, describiendo el tipo de proyecto de construcción residencial, y para conservar la confidencialidad solicitada por parte de las empresas constructoras, cada obra se codificó como “OB-01 ... OB-07” y la empresa responsable como “EC-01”; esta nomenclatura se mantendrá en todo el documento. En la Tabla 11 se presentan los proyectos, con sus principales características, código asignado, ubicación, tipología de proyectos de construcción residencial, fase constructiva observada y empresa responsable.

Tabla 10

Criterios de selección de proyectos de construcción residencial.

Criterio	Justificación
Actividad objetivo en ejecución	Confirma que el proceso constructivo que se pretende evaluar se esté desarrollando durante la visita, lo que permite obtener datos válidos de desperdicio.
Disponibilidad de planos y entrega de información de campo.	Permite calcular los índices de desperdicio.
Autorización formal para visitas técnicas.	Viabiliza las mediciones de campo.

Tabla 11

Proyectos seleccionados para el trabajo de campo de la investigación.

Código	Ubicación	Tipología	Fase de ejecución	Constructora
OB-01	Buenos aires.	Proyecto de construcción residencial multifamiliar	Estructura en concreto reforzado y muros	EC-01
OB-02	Altos de la Primavera	Proyecto de construcción residencial unifamiliar	Cimentación, estructura en concreto reforzado y muros.	EC-02
OB-03	La Riviera	Proyecto de construcción residencial bifamiliar	Cimentación, estructura en concreto reforzado y muros.	EC-03
OB-04	Lago III etapa	Proyecto de construcción residencial multifamiliar	Estructura en concreto reforzado y muros	EC-04

OB-05	Miradores del Lago	Proyecto de construcción residencial multifamiliar.	Estructura en concreto reforzado y muros	EC-03
OB-06	San Rafael	Proyecto de construcción residencial multifamiliar.	Estructura en concreto reforzado y muros	EC-02
OB-07	Villa Margarita	Proyecto de construcción residencial unifamiliar	Cimentación, estructura en concreto reforzado y muros.	EC-03

4.1.4 Identificación de las causas principales de desperdicio.

La identificación de las causas principales de desperdicio de los materiales representativos se realizó a partir de las observaciones en campo y posteriormente fueron contrastadas con la revisión de literatura. Cabe aclarar que el análisis documental se empleó únicamente como un mecanismo de validación y respaldo académico, sin integrarse de manera directa en el proceso de selección de causas principales. Esto se debe a que los contextos técnicos, geográficos y culturales descritos en los estudios revisados difieren de manera significativa de las condiciones locales del municipio de Ocaña. Por esta razón, la priorización de causas se fundamentó en la información obtenida en obra, mientras que la revisión de literatura permitió corroborar la pertinencia de los hallazgos y aportar solidez metodológica al estudio.

1. **Recolección en campo:** Para las visitas técnicas se diseñó el Formato 001, elaborado con base en los requerimientos de información definidos por los objetivos de la

investigación y presentado en el Apéndice A. Con este instrumento se realizaron visitas a las obras previamente seleccionadas, donde fue diligenciado directamente in situ durante la ejecución de las actividades constructivas y posteriormente digitalizado en oficina. El formato permitió registrar de manera sistemática las causas de desperdicio observadas en actividades específicas como el vaciado de concreto, el armado de acero y la construcción de muros en bloque H-10. Las observaciones se limitaron a estas actividades previamente definidas y se llevaron a cabo en diferentes obras, cuadrillas de trabajo, días y horarios, con el fin de asegurar diversidad en las condiciones de registro. La frecuencia de cada causa se calculó con base en el número total de veces que fue identificada en las actividades observadas, sin diferenciar entre jornadas, cuadrillas o proyectos. En consecuencia, dicha frecuencia no corresponde a ocurrencias diarias, sino a un conteo acumulado de registros efectuados en distintos frentes y obras visitadas.

2. **Revisión bibliográfica:** Se consultaron investigaciones previas relacionadas con el desperdicio de materiales en proyectos de construcción, con el propósito de contrastar y validar las causas identificadas durante las observaciones en obra. Esta revisión no se utilizó para contabilizar ocurrencias ni para establecer frecuencias de aparición de las causas, sino como un mecanismo de respaldo metodológico que permitió corroborar la pertinencia de los hallazgos de campo y aportar solidez académica al análisis.

3. **Selección de causas principales:** Las causas que además de haber sido registradas en campo contaban con respaldo en la literatura especializada, fueron consideradas para el proceso de priorización. Con estas causas validadas se aplicó el criterio del percentil 75 (P75) sobre las frecuencias por distintos frentes y obras visitadas, seleccionando así las causas principales de desperdicio para cada material representativo.

Identificación de causas mediante recolección en campo.

Para la identificación de las causas de desperdicio de materiales mediante la recolección de información en campo, en cada proyecto se realizaron varios seguimientos a las actividades constructivas seleccionadas. Durante estas observaciones se diligenció in situ el Formato 001, el cual posteriormente fue digitalizado en oficina. Cabe señalar que no fue posible evaluar todos los materiales en una misma obra, debido a las variaciones en el avance constructivo y a la disponibilidad de actividades en ejecución en el momento de la visita.

Con base en la información recolectada durante las visitas técnicas, se procedió a consolidar los datos obtenidos. En la Tabla 12 se presenta la actividad constructiva, el material involucrado, las causas de desperdicio identificadas y la obra en la que se registró cada caso.

Tabla 12

Causas de desperdicio observadas en actividades constructivas durante visitas técnicas

Actividad Constructiva	Material	Causas Observadas	Obra
Armado de acero y vaciado de concreto de zapatas.	Concreto	Irregularidades en la excavación	OB-02
		Ausencia de encofrado	OB-02, OB-07
		Interrupción de vaciado por lluvia	OB-02
		Fundida en jornadas no consecutivas	OB-02, OB-06
		Transporte inadecuado del concreto	OB-07
		Preparación de mezcla lejos del área de fundida	OB-07
		Preparación de mezcla sobre superficie de terreno natural.	OB-06, OB-07
		Ajuste de medidas por irregularidades del terreno	OB-06
		Mal almacenamiento de materiales	OB-06
	Acero	Cortes de acero con sobrantes no reutilizables	OB-02, OB-07, OB-06
		Almacenamiento no adecuado	OB-06
Vaciado de columnas.	Concreto	Preparación de mezcla en sitio inadecuado	OB-01, OB-02, OB-06
		Transporte inadecuado del concreto	OB-01, OB-02, OB-06
		Fisuras en la formaleta	OB-02
Vaciado de losas.	Concreto	Preparación de mezcla en sitio inadecuado	OB-03, OB-04, OB-07
		Transporte inadecuado del concreto	OB-03, OB-04, OB-07
		Daño en casetones	OB-03, OB-04, OB-07

		Desajuste de formaletas	OB-03
		Mal sellado de juntas de la formaleta	OB-04
		Interrupción del vaciado por lluvia	OB-07
		Ajuste de vacíos en campo	OB-07
Armado de aceros de estructura (Columnas y Losas)	Aceros	Cortes de acero con sobrantes no reutilizables	OB-03, OB-04, OB-07
		Mal almacenamiento	OB-04
		Uso de varillas en el encofrado	OB-03, OB-07
Mampostería en Bloque H-10	Bloques H-10	Corte manual de bloques	OB-05, OB-04
		Junta vertical sin herramienta adecuada	OB-05
		Medida de junta no uniforme	OB-05 – OB-04
		Fractura de bloques durante la manipulación	OB-04
		Transporte inadecuado de bloques	OB-04

Posteriormente, se procedió a organizar las causas de desperdicio identificadas para cada uno de los materiales representativos: concreto, acero de refuerzo y bloque H-10. Con el propósito de facilitar su análisis, cada causa fue clasificada dentro de una categoría general, agrupando aquellas que comparten una misma naturaleza o idea causal. La Tabla 13 presenta esta clasificación, incluyendo tanto la categoría asignada como la descripción específica de cada causa, tal como fue observada o registrada durante el trabajo de campo.

Tabla 13

Clasificación de causas de desperdicio por material representativo según categoría general y observación específica.

Material	Causa General	Causa específica observada
Concreto	Daño de casetones	Daño de casetones
	Fundidas en jornadas no consecutivas.	Fundida en jornadas no consecutivas
	Fundidas interrumpidas por lluvia.	Interrupción de vaciado por lluvia
	Mal almacenamiento de materiales	Mal almacenamiento de materiales
	Medidas incorrectas de elementos constructivos	Ajuste de vacíos en campo
		Ajuste de medidas por irregularidades del terreno.
	Preparación de mezcla en lugar inadecuado	Preparación de mezcla lejos del área de fundida
		Preparación de mezcla sobre superficie de terreno natural.
		Preparación de mezcla en sitio inadecuado
	Problemas con encofrados	Irregularidades en la excavación
		Ausencia de encofrado
		Desajuste de formaletas
		Mal sellado de juntas de la formaleta
	Problemas de transporte de mezcla	Transporte inadecuado del concreto
Acero	Cortes inadecuados	Cortes de acero con sobrantes no reutilizables

Bloque	Mal almacenamiento del material	Almacenamiento no adecuado
	Uso en estructuras o elementos provisionales	Uso de varillas en el encofrado
	Medida de junta no uniforme	Medida de junta no uniforme
		Junta vertical sin herramienta adecuada
	Fractura por manipulación	Corte manual de bloques
		Fractura de bloques durante la manipulación
	Transporte inadecuado	Transporte inadecuado de bloques

Una vez agrupadas las causas de desperdicio, en la Tabla 14 se presenta la frecuencia con la que cada una de ellas fue identificada durante el trabajo de campo, teniendo en cuenta que la frecuencia no corresponde al número de veces por jornada, sino al conteo de ocurrencias registradas en distintos frentes y obras visitadas.

Tabla 14

Frecuencia de causas de desperdicio por material representativo observadas en campo

Material	Causa	Frecuencia
Concreto	Daño de casetones	3
	Fundidas en jornadas no consecutivas.	2
	Fundidas interrumpidas por lluvia.	2
	Mal almacenamiento de materiales	1
	Medidas incorrectas de elementos constructivos	2
	Preparación de mezcla en lugar inadecuado	9
	Problemas con encofrados	6

Acero	Problemas de transporte de mezcla	8
	Cortes inadecuados	6
	Mal almacenamiento del material	2
	Uso en estructuras o elementos provisionales	2
Bloque	Medida de junta no uniforme	4
	Fractura por manipulación	3
	Fractura por transporte inadecuado	1

Identificación mediante revisión de literatura.

Para la identificación de las causas mediante revisión de literatura, se tuvieron en cuenta los mismos documentos utilizados durante la selección de materiales representativos.

- a. (GALARZA MEZA Marco Paulo, 2014) identificó diversas causas de desperdicio de materiales clasificadas por tipo de material y tipo de pérdida, que se presentan a continuación.

Concreto

- Pérdidas durante el vaciado.
- Fisuras o fallas de encofrado.
- Trabajos temporales.
- Retrabajos por defectos.
- Espesores excesivos en elementos estructurales.

Acero de refuerzo

- Cortes de varillas ineficientes (sin optimización de cortes).
- Mal almacenamiento de varillas.
- Sustitución por varillas de mayor diámetro sin justificación técnica.

b. Bautista y Romero (2019) identifican las causas de desperdicio de materiales clasificadas por tipo de material, como se presenta a continuación:

Concreto

- Preparación de mezcla en lugar inadecuado (lejos del sitio de vaciado).
- Transporte inadecuado de mezcla (uso de carretillas inestables o sin protección).
- Vaciado en tiempos no apropiados (interrupciones por clima o por falta de coordinación).
- Mezcla excedente no utilizada.
- Fundidas en jornadas no consecutivas.
- Irregularidades en excavaciones o encofrados que generan sobreconsumo.
- Fallas en la planificación del volumen requerido.

Acero

- Cortes inadecuados por falta de planificación o herramientas.
- Mal almacenamiento (oxidación, deformaciones).

- Desperdicio por errores en medidas o cambios de diseño no comunicados oportunamente.

Bloques

- Transporte sin acopio adecuado.
 - Mal almacenamiento (exposición a humedad o contacto directo con el suelo).
 - Pérdidas por ajustes en obra debido a diferencias con planos.
 - Cortes innecesarios por falta de modulación.
- c. (Ashqui Alulema & Pulgar Sánchez, 2017) identifica diversas causas de desperdicio de materiales de construcción, organizadas por tipo de material, como se presenta a continuación.

Concreto

- Preparación de mezcla mayor a la requerida.
- Pérdida de mezcla por mala colocación o interrupciones durante el vaciado.
- Exceso de mezcla en moldajes que luego se desecha.
- Reproceso por mal acabado o fisuras.
- Sobredimensionamiento por falta de control de espesores.

Acero de refuerzo

- Cortes no planificados o mal medidos.

- Sobrantes por uso de varillas de mayor longitud sin optimización.
- Oxidación por exposición a la intemperie.
- Almacenamiento inapropiado que deforma o deteriora las barras.

Bloques

- Ruptura por transporte inadecuado (carretillas, cargue manual).
- Golpes durante el acarreo en obra.
- Cortes excesivos por falta de modulación.
- Mala disposición en el sitio de almacenamiento (humedad, contacto con el suelo).

d. Chávez (2016) identifica causas de desperdicio organizadas según los materiales principales utilizados en obra, como se presenta a continuación.

Concreto

- Producción en exceso por mala planificación del volumen requerido.
- Vaciado interrumpido por causas climáticas o logísticas.
- Pérdidas durante el transporte interno en obra.
- Derrames por falta de moldajes o filtraciones en encofrados.
- Mezcla no utilizada al finalizar la jornada.

Acero

- Cortes incorrectos sin seguir planos estructurales.
- Varillas deterioradas por mal almacenamiento (exposición al agua, óxido).
- Sobrantes que no se reutilizan por falta de gestión.
- Uso ineficiente de longitudes comerciales sin optimización de cortes.

Mampostería (bloques, ladrillos)

- Ruptura durante el transporte.
- Mal acopio en almacenamiento (colapso de pilas, humedad).
- Desperdicio en cortes para ajustes en sitio por ausencia de modulación.
- Eliminación de unidades por errores de alineación.

A partir de los datos obtenidos en la revisión de literatura, se procedió a depurar y agrupar aquellas causas redundantes o conceptualmente similares. Este proceso permitió consolidar la información y reducir la complejidad del análisis, facilitando su posterior clasificación. Los resultados de esta depuración se presentan en la tabla 15.

Tabla 15

Agrupación de causas de desperdicio identificadas en la revisión de literatura

Material	Causa general	Causa específica en literatura
Concreto	Medidas incorrectas de elementos constructivos.	Espesores excesivos en elementos estructurales.
		Sobredimensionamiento por falta de control de espesores.

Fundidas en jornadas no consecutivas.	Fundidas en jornadas no consecutivas.
	Trabajos temporales.
Fundidas interrumpidas por lluvia.	Vaciado en tiempos no apropiados (interrupciones por clima o por falta de coordinación).
	Vaciado interrumpido por causas climáticas o logísticas.
Mezcla excedente no utilizada	Exceso de mezcla en moldajes que luego se desecha.
	Mezcla excedente no utilizada.
	Mezcla no utilizada al finalizar la jornada.
Pérdidas durante el vaciado	Pérdida de mezcla por mala colocación
	Perdida por interrupciones durante el vaciado.
	Pérdidas durante el vaciado.
Preparación de mezcla en lugar inadecuado	Preparación de mezcla en lugar inadecuado (lejos del sitio de vaciado).
	Derrames por falta de moldajes o filtraciones en encofrados.
Problemas con encofrados	Fisuras o fallas de encofrado.
	Irregularidades en excavaciones o encofrados que generan sobreconsumo.
Problemas de planificación del volumen	Fallas en la planificación del volumen requerido.
	Preparación de mezcla mayor a la requerida.
	Producción en exceso por mala planificación del volumen requerido.
Problemas de transporte de mezcla	Pérdidas durante el transporte interno en obra.
	Transporte inadecuado de mezcla (uso de carretillas inestables o sin protección).

Acero	Vertido de concreto incorrecto.	Reproceso por mal acabado o fisuras.
		Retrabajos por defectos.
	Almacenamiento inadecuado de materiales	Almacenamiento inapropiado que deforma o deteriora las barras
		Mal almacenamiento (oxidación, deformaciones).
		Mal almacenamiento de varillas.
		Oxidación por exposición a la intemperie.
		Varillas deterioradas por mal almacenamiento (exposición al agua, óxido).
	Cortes inadecuados	Cortes de varillas ineficientes (sin optimización de cortes).
		Cortes inadecuados por falta de planificación o herramientas.
		Cortes incorrectos sin seguir planos estructurales.
		Cortes no planificados o mal medidos.
		Uso ineficiente de longitudes comerciales sin optimización de cortes.
	Desperdicio por errores de diseño	Desperdicio por errores en medidas o cambios de diseño no comunicados oportunamente.
	Sobrantes por falta de reutilización	Sobrantes por uso de varillas de mayor longitud sin optimización.
		Sobrantes que no se reutilizan por falta de gestión.
	Sustitución injustificada de materiales	Sustitución por varillas de mayor diámetro sin justificación técnica.
Bloque H-10	Cortes innecesarios por falta de modulación	Cortes excesivos por falta de modulación.
		Cortes innecesarios por falta de modulación.

	Desperdicio en cortes para ajustes en sitio por ausencia de modulación.
	Pérdidas por ajustes en obra debido a diferencias con planos.
Eliminación de unidades por errores de ejecución	Eliminación de unidades por errores de alineación.
	Mal almacenamiento (exposición a humedad o contacto directo con el suelo).
Mal almacenamiento o disposición en obra	Mal apilamiento en almacenamiento (colapso de pilas, humedad).
	Mala disposición en el sitio de almacenamiento (humedad, contacto con el suelo).
	Golpes durante el acarreo en obra.
	Transporte sin apilamiento adecuado.
Transporte inadecuado	Ruptura por transporte inadecuado (carretillas, cargue manual).
	Ruptura durante el transporte y manipulación

Luego se procede a consolidar las causas identificadas en la revisión de Literatura, las cuales se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16

Causas de desperdicio por material según revisión de literatura

Material	Causa
Concreto	Fundidas en jornadas no consecutivas
	Fundidas interrumpidas por lluvia.

	Medidas incorrectas de elementos constructivos.
	Mezcla excedente no utilizada
	Pérdidas durante el vaciado
	Preparación de mezcla en lugar inadecuado
	Problemas con encofrados
	Problemas de planificación del volumen
	Problemas de transporte de mezcla
	Vertido de concreto incorrecto.
	Almacenamiento inadecuado de materiales
Acero	Cortes inadecuados
	Desperdicio por errores de diseño
	Sobrantes por falta de reutilización
	Sustitución injustificada de materiales
Bloque H-10	Cortes innecesarios por falta de modulación
	Eliminación de unidades por errores de ejecución
	Mal almacenamiento o disposición en obra
	Fractura por transporte inadecuado

Selección de causas principales por cada material.

A partir de las causas identificadas en el trabajo de campo, se validaron aquellas que contaban con respaldo en la revisión de literatura, con el propósito de conformar un grupo de causas preseleccionadas. Posteriormente, estas fueron priorizadas tomando como referencia el número de frecuencias observadas en las distintas visitas de obra y frentes de trabajo. En la Tabla 17 se presenta el listado de causas identificadas en campo junto con su respectiva validación en la revisión bibliográfica.

Tabla 17

Validación de causas identificadas en campo con revisión bibliografía.

Material	Causa identificada en campo	Validación en literatura
Concreto	Daño de casetones	No
	Fundidas en jornadas no consecutivas.	Si
	Fundidas interrumpidas por lluvia.	Si
	Mal almacenamiento de materiales	No
	Medidas incorrectas de elementos constructivos	Si
	Preparación de mezcla en lugar inadecuado	Si
	Problemas con encofrados	Si
	Problemas de transporte de mezcla	Si
Acero	Cortes inadecuados	Si
	Mal almacenamiento del material	Si
	Uso en estructuras o elementos provisionales	No
Bloque	Medida de junta no uniforme	No
	Fractura por manipulación	No
	Fractura por transporte inadecuado	Si

En la Tabla 18 se presenta el listado de causas de desperdicio identificadas en campo y validadas por revisión bibliográfica.

Tabla 18

Listado de causas de desperdicio por material

Material	Causa identificada en campo	ID
Concreto	Fundidas en jornadas no consecutivas.	A
	Fundidas interrumpidas por lluvia.	B

	Medidas incorrectas de elementos constructivos	C
	Preparación de mezcla en lugar inadecuado	D
	Problemas con encofrados	E
	Problemas de transporte de mezcla	F
	Almacenamiento inadecuado de materiales	
Acero	Cortes inadecuados	
Bloque H-10	Fractura por manipulación	

En el caso del acero y el bloque H-10, al registrarse únicamente dos y una causa respectivamente, se decidió analizarlas en su totalidad, dado que la aplicación de un criterio de selección estadística no resulta pertinente sobre conjuntos tan reducidos.

Por el contrario, para el concreto se identificó un mayor número de causas, lo que permitió aplicar el criterio del percentil 75 (P75) sobre las frecuencias observadas en campo. Este procedimiento posibilita priorizar de manera objetiva las causas más representativas dentro de un grupo amplio, enfocando el análisis en aquellas que concentran la mayor recurrencia de desperdicio.

A partir del conjunto total de causas identificadas del concreto, se asignó una letra de identificación a cada una de ellas con el fin de facilitar su representación gráfica, tal como se

muestra en la Figura 3. La Tabla 19 presenta el listado completo de causas, junto con su codificación alfabética y la frecuencia total registrada.

Tabla 19

Organización de Frecuencia total de causas de desperdicio de materiales

Posición	ID	Causa	Frecuencia
1	A	Fundidas en jornadas no consecutivas.	4
2	B	Fundidas interrumpidas por lluvia.	4
3	C	Medidas incorrectas de elementos constructivos	4
4	D	Problemas con encofrados	9
5	E	Preparación de mezcla en lugar inadecuado	10
6	F	Problemas de transporte de mezcla	10

El percentil 75 se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$P75 = 0.75 \times (n+1)$$

Donde “n” representa el número total de causas evaluadas.

$$P75 = 0.75 \times (6 + 1) = 5.25 = 5$$

Esto significa que las causas con frecuencia igual o superior a la posición 5 fueron consideradas como las más representativas para el análisis posterior. En este caso, dichas causas corresponden a aquellas con una frecuencia mayor o igual a 9, las cuales representan el cuartil

superior (el 25 % de las causas más frecuentes) de la muestra. Estas se ilustran en la Figura 3 y se detallan en la Tabla 20.

Figura 3

Frecuencia total de causas de desperdicio de materiales y P75.

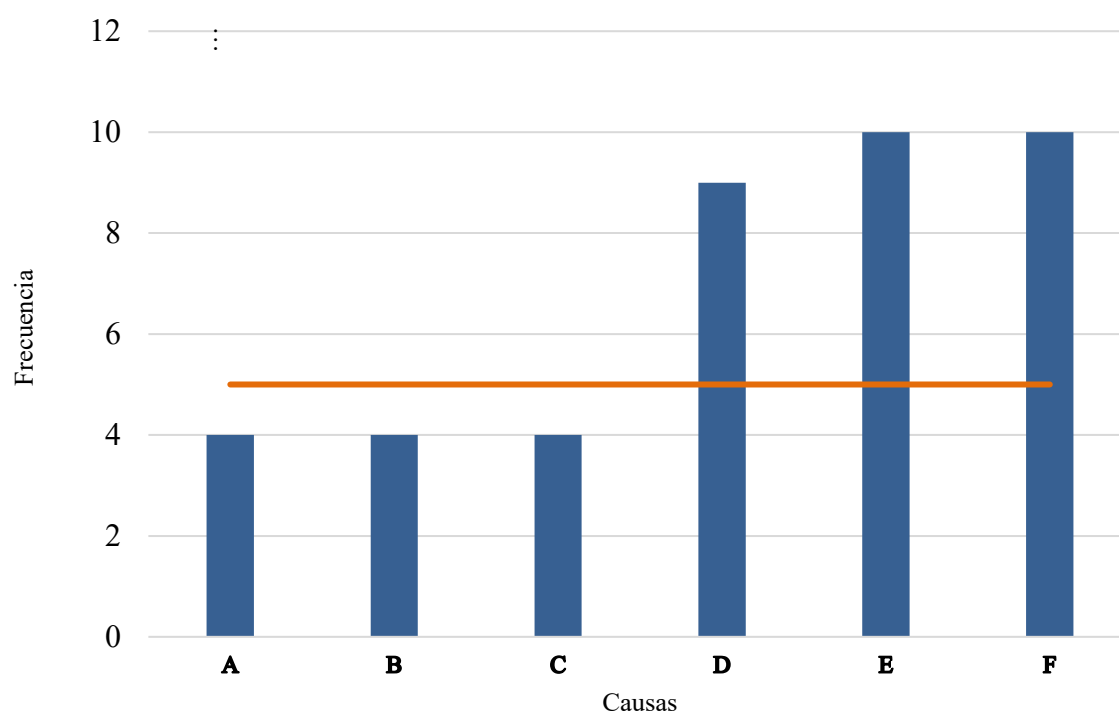


Tabla 20

Causas de desperdicio de concreto con frecuencia mayor o igual al percentil 75

ID	Causa	Material
D	Preparación de mezcla en lugar inadecuado	Concreto
E	Problemas con encofrados	
F	Problemas de transporte de mezcla	

4.1.5 Análisis de las causas principales de desperdicio.

Clasificación de las causas según los tipos de desperdicio Lean Construction

Para el análisis de las causas de desperdicio seleccionadas, el primer paso consistió en su clasificación según los ocho tipos de desperdicio definidos por la filosofía Lean Construction. Esta clasificación permite comprender el origen y la naturaleza de cada causa dentro del enfoque de mejora continua, y a su vez, constituye una base para el desarrollo del Objetivo 3, ya que proporciona un punto de partida que orienta el diseño de estrategias ajustadas a la problemática real observada en obra. En la Tabla 21 se presenta por material, el problema identificado, la clasificación del desperdicio según Lean Construction, la causa correspondiente y la justificación técnica para su asignación.

Tabla 21

Relación entre causas de desperdicio y tipo de desperdicio Lean Construction.

Material	Problema	Causa	Tipo de desperdicio (Lean Construction)	Justificación
Concreto	Pérdida de mezcla de concreto	Preparación de mezcla en lugar inadecuado.	Movimientos innecesarios Transporte innecesario	La mezcla debe ser trasladada desde zonas alejadas al punto de vaciado, obligando al personal a desplazarse con la mezcla, lo que incrementa el riesgo de pérdida de concreto.
		Problemas con encofrados	Defectos	Las fallas en la formaleta como fisuras, filtraciones, mal sellado, ocasionan pérdidas de concreto.
		Problemas de transporte de mezcla	Transporte innecesario	El desplazamiento de la mezcla se realiza por rutas extensas o con medios inadecuados, lo cual genera pérdidas del concreto.
Acero	Pérdida de acero	Almacenamiento inadecuado de materiales	Exceso de inventario	El almacenamiento sin planificación genera acumulaciones innecesarias de varilla, lo que incrementa el riesgo de compra adicional del material.
		Cortes inadecuados	Defectos Sobrepocesamiento	Implica repetir cortes adicionales por falta de planificación, errores en medición o ausencia de criterios de optimización. Esto lleva a generar sobrantes no reutilizables.
Bloque H-10	Fractura de bloque H-10	Fractura por transporte inadecuado	Movimientos innecesarios	La fractura del bloque se produce durante su traslado en obra, debido a una manipulación deficiente, falta de protección o uso de medios de transporte no adecuados.

A partir de la clasificación presentada en la Tabla 20, se evidencia que las causas de desperdicio identificadas en los proyectos analizados están relacionadas principalmente con los siguientes tipos definidos por la filosofía Lean Construction:

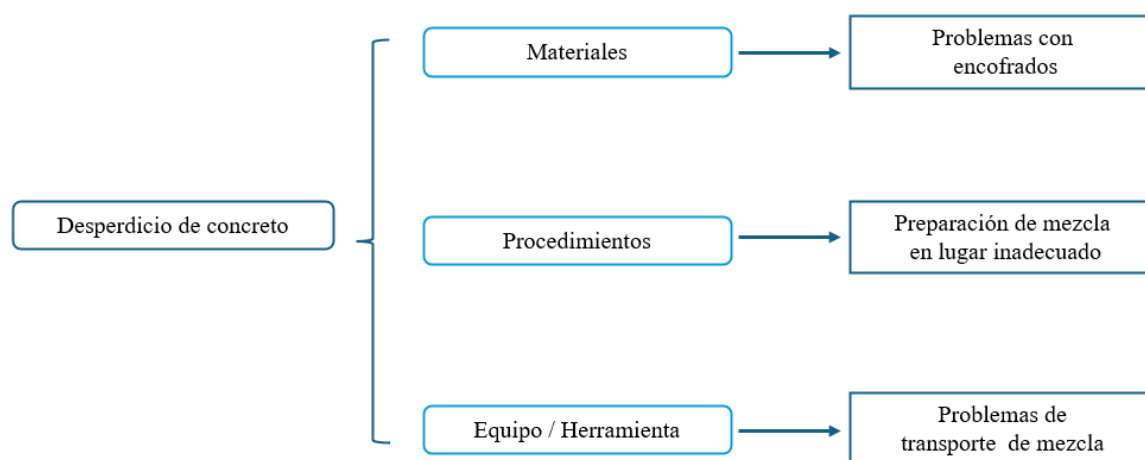
- Movimientos innecesarios.
- Transporte innecesario.
- Defectos.
- Exceso de inventario.
- Sobreprocesamiento.

Análisis de Causa Raíz.

Para identificar y organizar las causas que generan el desperdicio de materiales en los proyectos de construcción residencial, se elaboraron esquemas de clasificación de causas por categorías para cada material representativo. En ellos se muestra la problemática específica de cada material, ubicando las causas seleccionadas en esta investigación según la categoría correspondiente. En las Figuras 3, 4 y 5 se presentan las clasificaciones para el concreto, el acero de refuerzo y el bloque H-10, respectivamente.

Figura 4

Clasificación de causas del desperdicio de concreto por categorías

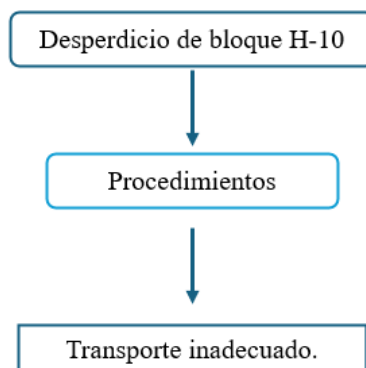
**Figura 5**

Clasificación de causas del desperdicio de acero por categorías



Figura 6

Clasificación de causas del desperdicio de bloque-h10 por categorías



Con el objetivo de profundizar en el análisis causa-raíz, se aplicaron dos herramientas metodológicas: la metodología de los “5 por qué” y el Diagrama de Ishikawa, seleccionando la más adecuada de acuerdo con la naturaleza de cada causa identificada. La Tabla 22 presenta las causas analizadas y la herramienta seleccionada para el análisis causa-raíz en cada caso.

El Diagrama de Ishikawa se empleó cuando la causa involucraba múltiples factores simultáneos que requerían ser organizados de manera estructurada, como en los casos asociados al concreto. Por su parte, la metodología de los 5 por qué se aplicó en causas que seguían una secuencia lógica de errores, permitiendo identificar la causa raíz a través de preguntas sucesivas.

La elaboración de cada diagrama y la aplicación de los “5 por qué” se realizó con el apoyo de profesionales del sector de la construcción, cuyas experiencias en obra permitieron validar y complementar el enfoque del análisis.

Tabla 22

Selección de herramienta para análisis causa-raíz por tipo de causa identificada

Problema	Causa principal	Herramienta
Pérdida de mezcla de concreto	Preparación de mezcla en lugar inadecuado.	Diagrama de Ishikawa
	Problemas con encofrados.	Diagrama de Ishikawa
	Problemas de transporte de mezcla.	Diagrama de Ishikawa
Pérdida de acero.	Almacenamiento inadecuado	5 por qué
	Cortes inadecuados	5 por qué
Bloque H-10	Fractura por transporte inadecuado	5 por qué

A continuación, se presenta el análisis detallado de cada problema.

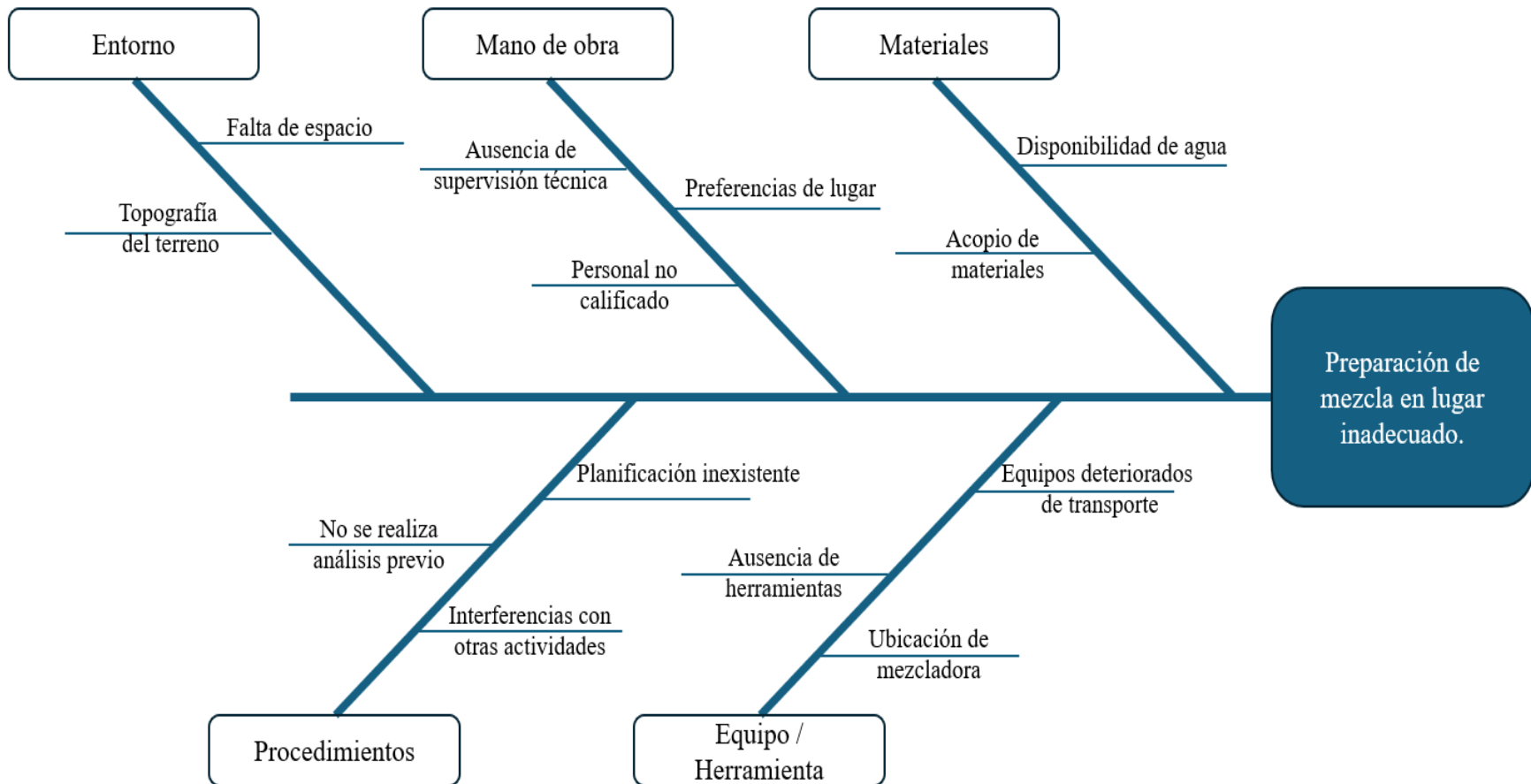
Pérdida mezcla de concreto

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, y siguiendo la clasificación de desperdicios establecida por la filosofía Lean Construction, las causas asociadas al desperdicio de mezcla de concreto: preparación de mezcla en lugar inadecuado, problemas con encofrados y problemas de transporte de mezcla, se relacionan principalmente con los tipos de desperdicio movimientos innecesarios, defectos y transporte innecesario, respectivamente. Estas situaciones generan pérdidas materiales significativas debido a reprocesos, errores en la ejecución y manejo ineficiente de recursos. Para analizar en profundidad estas causas, se aplicó el Diagrama de Ishikawa como herramienta de análisis causa-raíz, permitiendo estructurar los factores involucrados en cada problemática.

El diagrama de Ishikawa mostrado en la Figura 7, cuyo problema central es la preparación de la mezcla en un lugar inadecuado, organiza sus causas en cinco categorías. En la categoría entorno destacan la falta de espacio y las condiciones topográficas desfavorables, que dificultan ubicar de forma óptima las zonas de mezclado y obligan al personal a trabajar en áreas improvisadas. En mano de obra, influyen la ausencia de supervisión técnica, la preferencia por sitios más cómodos o cercanos y la carencia de personal capacitado para tomar decisiones sobre la ubicación, lo que deriva en elecciones poco acertadas. En materiales, el acopio desorganizado y la disponibilidad de agua condicionan la selección de zonas no apropiadas para preparar el concreto. En cuanto a procedimientos, se evidencian la falta de análisis previo del sitio y las interferencias con otras actividades, reflejando una débil planeación y coordinación. Finalmente, en equipo y herramienta, se observan problemas como la ubicación inadecuada de la mezcladora, la ausencia de herramientas específicas y el uso de equipos de transporte deteriorados, factores que reducen la eficiencia y calidad del proceso. En conjunto, este análisis demuestra que la elección incorrecta del lugar para preparar la mezcla no es un hecho aislado, sino el resultado de fallas organizativas, técnicas y operativas interrelacionadas que deben abordarse de manera integral para disminuir el desperdicio de materiales.

Figura 7

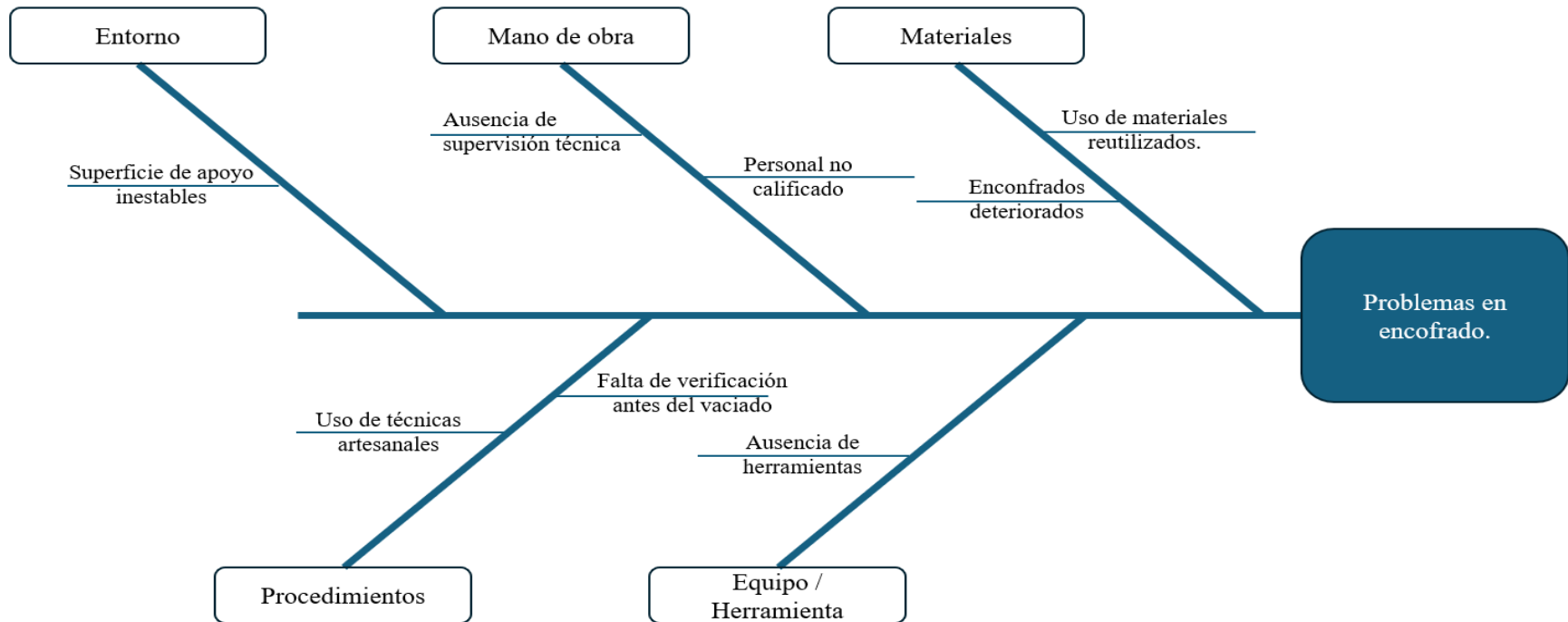
Diagrama de Ishikawa para la preparación de mezcla en un lugar inadecuado.



El diagrama de Ishikawa mostrado en la Figura 8, cuyo problema central son los problemas en encofrado, permite identificar y clasificar de forma estructurada las causas que originan este tipo de fallas en los procesos constructivos. En la categoría entorno, destaca la presencia de superficies de apoyo inestables que comprometen la seguridad y estabilidad del encofrado durante el vaciado del concreto, incrementando el riesgo de filtraciones o deformaciones. En mano de obra, se evidencian la falta de supervisión técnica y la participación de personal no calificado, lo que ocasiona errores en la instalación y armado de los sistemas. En materiales, el uso de elementos reutilizados y encofrados deteriorados, que no cumplen con las condiciones óptimas, provoca filtraciones, deformaciones y pérdida de resistencia, afectando el acabado y la calidad estructural. En cuanto a procedimientos, se observan deficiencias como la aplicación de técnicas artesanales sin precisión ni estabilidad, así como la ausencia de verificación previa al vaciado, lo que impide corregir defectos a tiempo. Finalmente, en la categoría equipo y herramienta, la falta de herramientas adecuadas dificulta la alineación, nivelación, inspección y ajuste del encofrado. En conjunto, este análisis evidencia que las fallas en el encofrado no responden a un único factor, sino a la interacción de materiales de baja calidad, personal sin capacitación, métodos empíricos y condiciones inadecuadas del entorno.

Figura 8

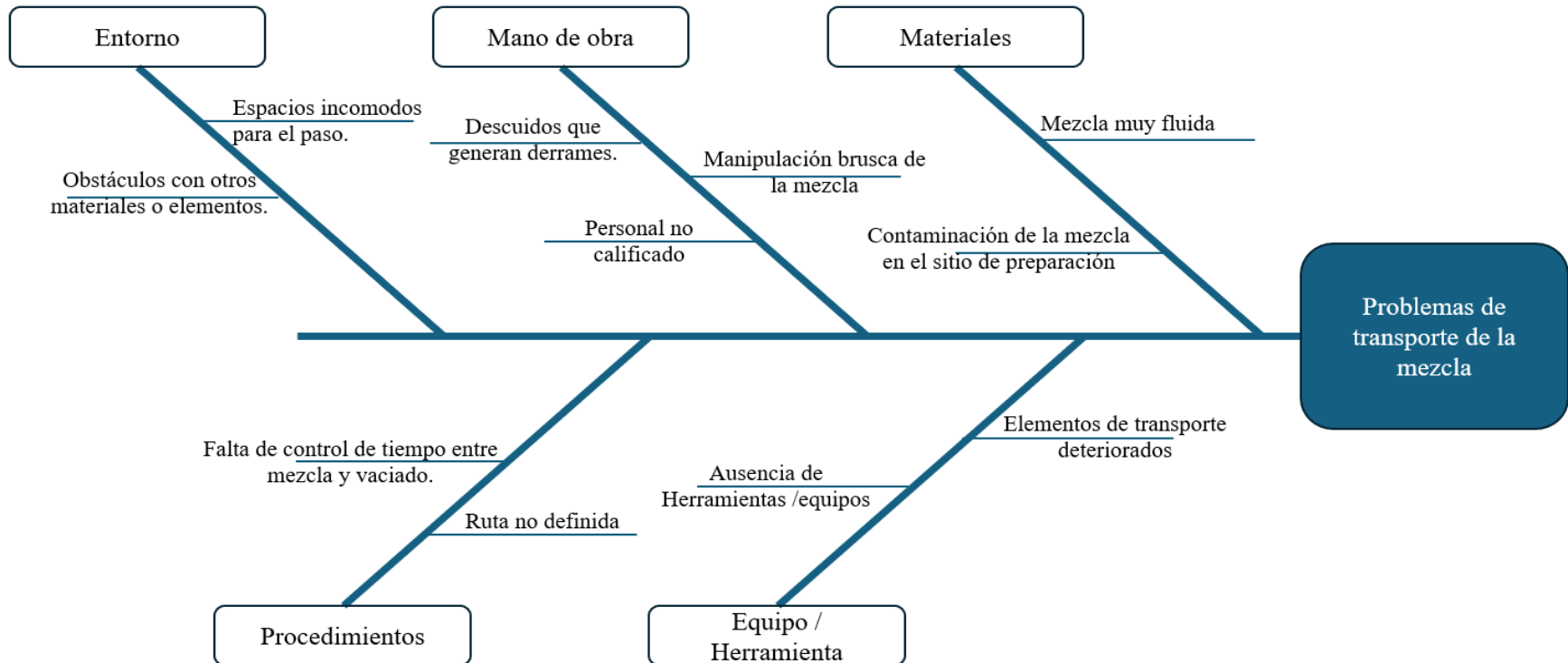
Diagrama de Ishikawa para problemas en encofrado.



El diagrama de Ishikawa presentado en la Figura 9, enfocado en los problemas de transporte de la mezcla, identifica diversas causas agrupadas en cinco categorías. En entorno, se destacan los espacios reducidos o incómodos para el paso y la presencia de obstáculos generados por otros materiales o elementos, los cuales dificultan el tránsito fluido y aumentan el riesgo de accidentes o pérdida de mezcla. En mano de obra, se observan errores humanos como descuidos que provocan derrames, manipulación brusca y la intervención de personal no calificado, afectando la calidad del concreto durante su traslado. En materiales, se evidencian problemas como mezclas demasiado fluidas, que favorecen el derrame, y la contaminación del concreto en el sitio de preparación, lo que disminuye su resistencia y homogeneidad al momento del vaciado. En cuanto a procedimientos, se detecta la ausencia de control sobre el tiempo entre la preparación y el vaciado lo que puede generar pérdidas por fraguado anticipado, así como la falta de rutas definidas, que deriva en improvisaciones y recorridos ineficientes. Finalmente, en equipo y herramienta, la carencia de medios adecuados y el uso de elementos de transporte deteriorados dificultan la movilización segura y eficiente del concreto. En conjunto, este análisis muestra que los problemas en el transporte de la mezcla no se originan únicamente en aspectos técnicos o logísticos, sino también en fallas organizativas y humanas que afectan la calidad del material y aumentan el desperdicio.

Figura 9

Diagrama de Ishikawa para problemas en transporte de mezcla.



Perdida de acero

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, y considerando la clasificación de desperdicios propuesta por la filosofía Lean Construction, las causas almacenamiento inadecuado de materiales y cortes inadecuados de acero se asociaron a los tipos de desperdicio exceso de inventario y sobreprocesamiento, respectivamente. Esto se debe a la presencia de acumulaciones innecesarias de varilla en obra y a la falta de control en los cortes realizados, lo que genera sobrantes no reutilizables. En este contexto, se aplicó la metodología de los 5 Por Qué para el análisis causa-raíz, adoptando un enfoque centrado en dichos tipos de desperdicio.

En la figura 10 se presenta La metodología de los 5 ¿Por qué? para el almacenamiento inadecuado del acero permite descomponer de forma secuencial la recurrencia en obra sobre: la acumulación y pérdida de control del acero de refuerzo. El primer nivel del análisis identifica que el mal almacenamiento ocurre porque el acero se acumula sin control, es decir, no se registra ni se clasifica adecuadamente según sus longitudes y diámetros. A partir de esta observación, se indaga por qué se presenta esta acumulación, encontrando que no existe un sistema establecido para llevar el registro y la clasificación del material. Esta carencia a su vez se debe a que no se ha definido un procedimiento técnico que especifique cómo debe organizarse el acero en obra. La pregunta siguiente profundiza en la razón de la ausencia de este procedimiento técnico, encontrando que no hay coordinación entre las áreas de compras, programación y ejecución, lo cual impide establecer mecanismos claros para prever, solicitar y disponer el acero conforme a

las necesidades reales del proyecto. Finalmente, se concluye que esta desarticulación entre áreas se origina en la ausencia de un protocolo estandarizado para el manejo y control del inventario en obra. Esta última respuesta pone en evidencia la causa raíz del problema: una falta de formalización en los procesos internos, que impacta directamente en la eficiencia operativa, genera exceso de inventario, aumenta los costos por desperdicio y dificulta la trazabilidad del material.

En la figura 11 se presenta La aplicación de la metodología de los 5 ¿Por qué? a la causa de los cortes inadecuados del acero. El análisis inicia identificando que los cortes erróneos se deben a errores de medición o a la generación de sobrantes no reutilizables, lo cual deriva en pérdidas económicas y materiales. Al indagar más a fondo, se detecta que la causa inmediata es la falta de planificación previa de los cortes, lo que impide optimizar el uso de las longitudes de varilla disponibles. Esta ausencia de planificación se explica porque los cortes se ejecutan de forma improvisada y sin trazado previo, es decir, sin una verificación técnica ni coordinación con los planos estructurales. La metodología continúa mostrando en que esta improvisación responde a la inexistencia de procedimientos estandarizados y a la falta de asignación de un responsable técnico que supervise los cortes antes de ejecutarlos. Finalmente, se concluye que estas condiciones son consecuencia de que no se ha implementado en obra una estructura de planificación técnica ni procesos de control operativo.

Figura 10

Metodología de los 5 ¿Por qué? para el almacenamiento inadecuado del acero.

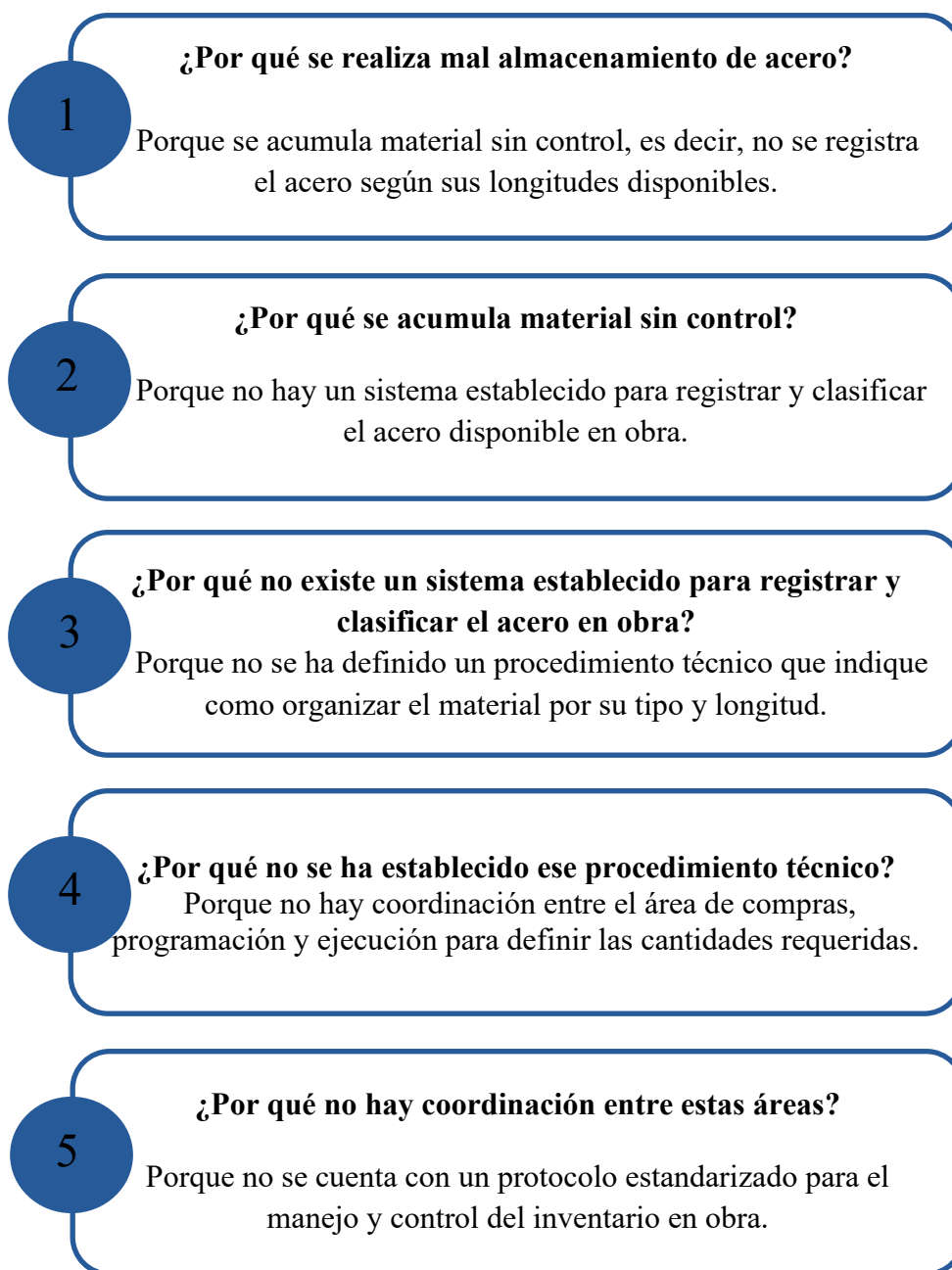
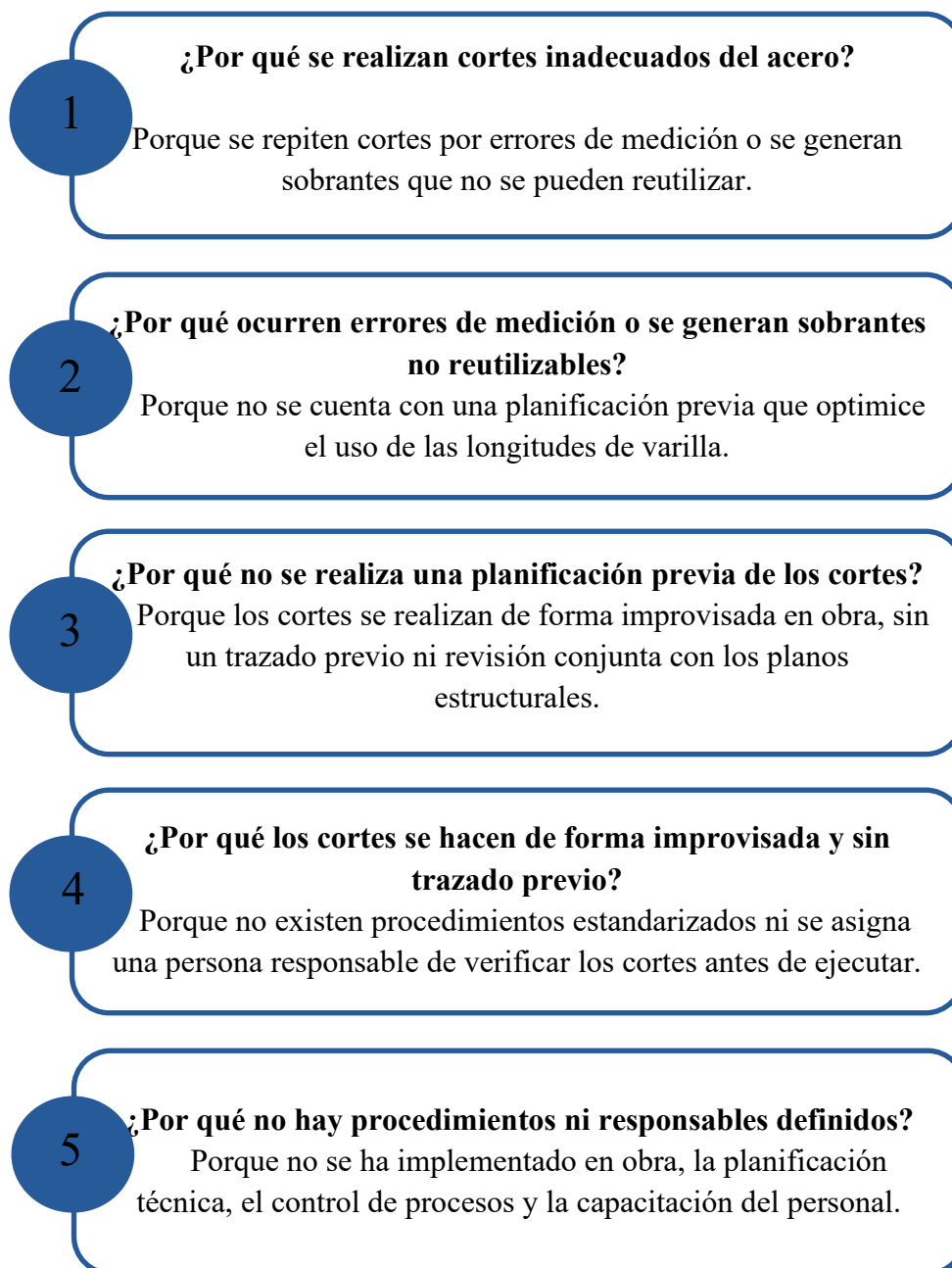


Figura 11

Metodología de los 5 ¿Por qué? para cortes inadecuado del acero.

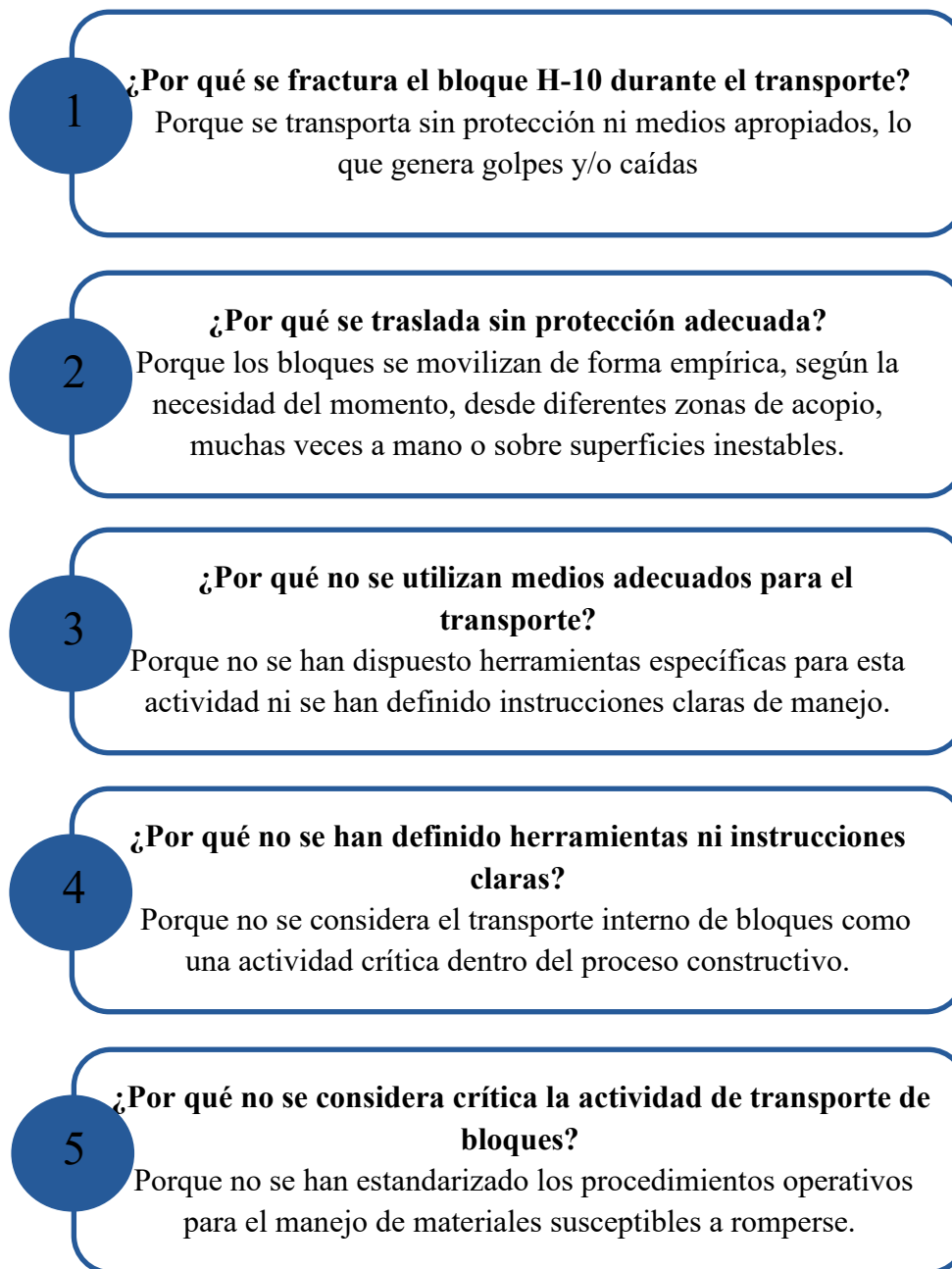


Fractura de Bloque H-10

De acuerdo con la clasificación de desperdicios propuesta por la filosofía Lean Construction, la causa fractura de bloque H-10 durante el transporte se asoció al tipo de desperdicio por defectos, ya que el material se deteriora antes de su instalación, perdiendo completamente su valor. Esta situación se origina por un manejo inadecuado durante su movilización en obra, el cual se realiza de forma empírica, sin el uso de medios apropiados ni procedimientos definidos. En este contexto, se aplicó la metodología de los 5 Por Qué para identificar la causa raíz, adoptando un enfoque centrado en la falta de estandarización del proceso de transporte interno. En la figura 12 se presenta la aplicación de la metodología de los 5 ¿Por qué? a la causa de la fractura del bloque H-10 durante el transporte. El análisis inicia estableciendo que la fractura ocurre porque el bloque es transportado sin protección ni medios adecuados, lo cual lo expone a golpes, caídas y daños de este. Esta situación se debe a que los bloques se movilizan de forma empírica, según la necesidad del momento, desde distintas zonas de acopio, lo cual evidencia una total ausencia de planificación logística. Al profundizar en las razones de esta movilización improvisada, se identifica que no se utilizan herramientas ni medios apropiados para esta labor. La causa inmediata de ello es que no se han dispuesto herramientas específicas ni instrucciones claras, reflejando una carencia de directrices técnicas para el manejo del material. Esta falta de definición se origina porque el transporte interno de bloques no se considera una actividad crítica dentro del proceso constructivo. Finalmente, se concluye que esta falta de atención se debe a la ausencia de estandarización de los procedimientos operativos, lo que impide tratar esta etapa con criterios técnicos y controlados.

Figura 12

Metodología de los 5 Por que para la causa de fractura durante el transporte.



4.2 Cuantificar el nivel de desperdicio de materiales representativos en los procesos constructivos, mediante la aplicación de metodologías de auditoría de desperdicios y seguimiento a procesos constructivos para establecer comparaciones con referencias del sector.

Para la cuantificación del nivel de desperdicio se utilizaron como referencia los mismos proyectos de construcción residenciales seleccionados en la fase de identificación de causas. Estos proyectos correspondieron a construcciones residenciales en el municipio de Ocaña, donde se efectuaron seguimientos directos a las actividades constructivas definidas (vaciado de concreto, armado de acero y construcción de muros en bloque H-10). La información recolectada en dichas obras constituyó la base para calcular los índices de desperdicio de los materiales representativos y establecer comparaciones con las referencias del sector.

Para cuantificar los niveles de desperdicio de los materiales representativos seleccionados (acero, concreto y bloque H-10), se realizó un procedimiento basado con prácticas observadas en investigaciones recientes (Galarza, 2014; Chávez, 2016). Este procedimiento busca medir el índice de desperdicio de manera directa en obra, comparando las cantidades proyectadas con las realmente utilizadas. La obtención de las cantidades se obtuvo de la siguiente forma:

- 1. Recolección en campo:** Se tomó como base el Formato 001 desarrollado previamente en esta investigación, mediante el cual se registraron in situ las

cantidades reales de material empleadas durante la ejecución de las actividades constructivas.

- 2. Cálculo de la cantidad teórica:** Fue calculada posteriormente en oficina, a partir de los planos arquitectónicos y estructurales proporcionados por las empresas constructoras. Se aplicaron principios geométricos y matemáticos según la naturaleza de cada actividad (volumen de concreto en zapatas, área de muros en bloque, longitud y peso en el acero de refuerzo).
- 3. Cálculo del Índice de desperdicio:** Una vez obtenido las cantidades proyectadas y realmente utilizadas, se procedió a calcular el “Id” por cada actividad y posteriormente cada material, según el caso a partir de la siguiente ecuación:

$$Id = \frac{Cu - Ct}{Ct} \times 100\%$$

donde:

Id: Índice de desperdicio.

Ct: Cantidad teórica del material.

Cu: Cantidad utilizada en obra del material.

Luego los valores desperdicio obtenidos de cada material, se calculó por el método de estimación basado en tres escenarios: optimista, probable y pesimista, mediante la siguiente ecuación:

$$e = \frac{a + 4b + c}{6}$$

Donde;

e = valor esperado.

a = valor optimista.

b = valor probable

c = valor pesimista

Esta forma de cálculo permitió representar el comportamiento del desperdicio para cada material dentro de un rango de variación realista, reflejando tanto la variabilidad de las condiciones de obra como las posibles incertidumbres en la ejecución. Esta aproximación brinda un análisis más completo y robusto, ya que no se limita a un valor único, sino que considera las fluctuaciones propias del entorno constructivo. Como resultado, se obtuvo un índice final de desperdicio por material representativo.

La cuantificación del desperdicio se realizó de forma diferenciada para cada uno de los materiales representativos seleccionados (acero, concreto y bloque H-10), debido a sus características físicas, métodos de instalación y procesos constructivos asociados. Para ello, se establecieron criterios específicos de medición que permitieran comparar de manera objetiva la cantidad proyectada y la cantidad realmente utilizada en cada actividad.

4.2.1. Medición del desperdicio del concreto.

El concreto fue cuantificado en metros cúbicos (m^3), con base en los volúmenes geométricos de los elementos estructurales fundidos en obra. Las actividades constructivas observadas en campo incluyeron:

- Vaciado de zapatas.
- Fundida de columnas.
- Vaciado de losa aligerada.

Las mediciones fueron realizadas directamente durante las visitas técnicas, utilizando como instrumento base el Formato 001, diseñado para el registro de información in situ.

Cantidad teórica (Ct): La cantidad teórica de concreto se estimó a partir de los planos estructurales, aplicando fórmulas geométricas básicas en función del tipo de elemento. Para el caso de la losa aligerada, se empleó la siguiente expresión:

$$\text{Volumen de concreto(Losa aligerada)} = V_v + V_{vt} + V_{rs}$$

Donde;

V_v =Volumen de concreto de vigas

V_{vt} =Volumen de concreto de viguetas

V_{rs} =Volumen de concreto de recubrimiento superior.

En la Tabla 23 se presentan las cantidades de volumen correspondientes a cada muestra seleccionada, calculadas con base en los planos estructurales.

Tabla 23

Cantidad teórica de concreto estimada a partir de planos estructurales por elemento y muestra

Ítem	No. muestra	Elemento	Volumen de concreto (m3)
1	1	Zapatas	3.53
2	2	Zapatas	7.79
3	3	Zapatas	10.52
4	1	Columnas	2.36
5	2	Columnas	0.98
6	3	Columnas	0.72
7	1	Losa	14.51
8	2	Losa	25.85
9	3	Losa	17.09

Cantidad utilizada en obra (Cu): fue determinada en campo, obteniéndola mediante el conteo de bultos de cemento utilizados, teniendo en cuenta que la capacidad de las mezcladoras correspondía a una unidad de bulto.

Según lo expuesto por la Asociación Colombiana de Productores de Concreto (ASOCRETO, 2010), el volumen total de concreto producido a partir de la masa de sus componentes se calcula mediante el método del volumen absoluto, el cual establece que:

$$V = V_{cem} + V_{agua} + V_{fino} + V_{grueso}$$

- V: Volumen total de la mezcla (en m³).
- V_{cem}: Volumen del cemento.
- V_{agua}: Volumen de agua
- V_{fino}: Volumen de agregado fino
- V_{grueso}: Volumen de agregado grueso.

Este método asume que no existen espacios vacíos entre partículas, por lo que no se considera el efecto del empaquetamiento.

a. Cemento.

La cantidad de cemento se expresó en kilogramos y se determinó multiplicando el número de bultos de 50 kg por su peso unitario. El volumen se calculó con la ecuación:

$$V_{cem} = W_{cem} / \rho_{cem}$$

Donde;

W_{cem}: Masa del cemento (kg)

ρ_{cem} : Densidad del cemento (kg/m³)

De acuerdo con la Ficha de Datos de Seguridad de CEMEX Colombia, el cemento presenta un peso específico relativo entre 2,7 y 3,2, lo que equivale a una densidad en el rango de 2 700 a 3 200 kg/m³ (CEMEX Colombia, 2023).

Según el American Concrete Institute (2002) en el método ACI 211.1 para el diseño de mezclas de concreto, la gravedad específica del cemento portland es 3.15, equivalente a una densidad de aproximadamente 3150 kg/m³, valor recomendado para cálculos mediante el método del volumen absoluto. En la Tabla 24 se presenta el cálculo del volumen de cemento por muestra y elemento.

Tabla 24

Volumen de cemento utilizado en obra por muestra y elemento.

Ítem	Muestra	Elemento	Cemento (kg)	p _{cem} (kg/m ³)	Volumen de cemento (m ³)
1	1	Zapatas	1200.00	3150.00	0.38
2	2	Zapatas	2650.00	3150.00	0.84
3	3	Zapatas	3450.00	3150.00	1.10
4	1	Columnas	737.50	3150.00	0.23
5	2	Columnas	312.50	3150.00	0.10
6	3	Columnas	225.00	3150.00	0.07
7	1	Losa	4950.00	3150.00	1.57
8	2	Losa	8500.00	3150.00	2.70
9	3	Losa	5600.00	3150.00	1.78

b. Agua.

La cantidad de agua se expresó en litros y se dosificó en obra utilizando baldes negros con capacidad verificada de 8 litros. El volumen total se calculó mediante la expresión:

$$V_{\text{agua}} = C \times A \times \frac{Vb}{1000}$$

Donde;

C: Número total de bultos utilizados

A: Número de baldes por bulto

Vb: Volumen de un balde (Litros).

Se tiene en cuenta que 1 m³ equivale a 1000 litros, lo que facilita la conversión entre unidades de volumen en los registros y cálculos realizados en obra. En la tabla 25 se presenta el cálculo del volumen de agua por cada muestra y elemento.

Tabla 25

Volumen de agua utilizada en obra por muestra y elemento

Ítem	Muestra	Elemento	Bultos de cemento	Baldes por bultos	Baldes de agua (und)	Volumen (m3)
1	1	Zapatas	24.00	2.50	60.00	0.48
2	2	Zapatas	53.00	3.00	159.00	1.27
3	3	Zapatas	69.00	3.00	207.00	1.66
4	1	Columnas	14.75	2.50	36.88	0.30
5	2	Columnas	6.25	2.50	15.63	0.13
6	3	Columnas	4.50	3.00	13.50	0.11

7	1	Losa	99.00	3.00	297.00	2.38
8	2	Losa	170.00	3.50	595.00	4.76
9	3	Losa	112.00	3.00	336.00	2.69

c. Agregados (arena y grava)

Los agregados se midieron en cuñetes con capacidad verificada de 0,02 m³. La cantidad utilizada por tipo de agregado se estimó mediante:

$$V_{\text{fino}} \text{ o } V_{\text{grueso}} = C \times AG \times V_c$$

Donde;

C: Cantidad de bultos de cemento

AG: Número de cuñetes por bulto de cada agregado.

V_c: Volumen de un cuñete (m³)

En la Tabla 26 se presenta el cálculo del volumen de agregado fino por muestra y elemento, y en la Tabla 27 el de agregado grueso.

Tabla 26

Volumen de agregado fino utilizado en obra por muestra y elemento

Ítem	Muestra	Elemento	Bultos de cemento	Cuñetes por bulto	Cuñetes	Volumen de agregado fino (m3)
1	1	Zapatas	24.00	4.00	96.00	1.54
2	2	Zapatas	53.00	4.00	212.00	3.39
3	3	Zapatas	69.00	4.00	276.00	4.42

4	1	Columnas	14.75	4.00	59.00	0.94
5	2	Columnas	6.25	4.00	25.00	0.40
6	3	Columnas	4.50	4.00	18.00	0.29
7	1	Losa	99.00	4.00	396.00	6.34
8	2	Losa	170.00	4.00	680.00	10.88
9	3	Losa	112.00	4.00	448.00	7.17

Tabla 27

Volumen de agregado grueso utilizado en obra por muestra y elemento

Ítem	Muestra	Elemento	Bultos de cemento	Cuñetes por bulto	Cuñetes	Volumen de agregado grueso (m3)
1	1	Zapatas	24.00	4.00	96.00	1.54
2	2	Zapatas	53.00	4.00	212.00	3.39
3	3	Zapatas	69.00	4.00	276.00	4.42
4	1	Columnas	14.75	4.00	59.00	0.94
5	2	Columnas	6.25	4.00	25.00	0.40
6	3	Columnas	4.50	4.00	18.00	0.29
7	1	Losa	99.00	4.00	396.00	6.34
8	2	Losa	170.00	4.00	680.00	10.88
9	3	Losa	112.00	4.00	448.00	7.17

A partir de los volúmenes individuales calculados para el cemento, el agua, el agregado fino y el agregado grueso, se aplicó el método del volumen absoluto para determinar el volumen total de concreto producido en obra para cada muestra y elemento. En la Tabla 28 se presentan los resultados obtenidos, indicando el volumen de concreto producido en cada caso.

Tabla 28

Cantidad utilizada de concreto en obra por muestra y elemento

Ítem	Muestra	Elemento	Volumen (m3)				TOTAL
			Cemento	Agua	Agregado fino	Agregado grueso	
1	1	Zapatas	0.38	0.48	1.54	1.54	3.94
2	2	Zapatas	0.84	1.27	3.39	3.39	8.89
3	3	Zapatas	1.10	1.66	4.42	4.42	11.60
4	1	Columnas	0.23	0.30	0.94	0.94	2.41
5	2	Columnas	0.10	0.13	0.40	0.40	1.03
6	3	Columnas	0.07	0.11	0.29	0.29	0.76
7	1	Losa	1.57	2.38	6.34	6.34	16.63
8	2	Losa	2.70	4.76	10.88	10.88	29.22
9	3	Losa	1.78	2.69	7.17	7.17	18.81

Finalmente, en la Tabla 29 se presentan los resultados obtenidos para cada muestra analizada, incluyendo la Cantidad Teórica (Ct), la Cantidad Utilizada (Cu), y el Índice de Desperdicio (Id) calculado para cada caso.

Tabla 29

Cantidades teóricas, utilizadas e índice de desperdicio para muestras de volumen de concreto.

Ítem	Muestra	Elemento	Ct (m3)	Cu (m3)	Id (%)
1	1	Zapatas	3.53	3.94	11.61%
2	2	Zapatas	7.79	8.89	14.12%
3	3	Zapatas	10.52	11.60	10.27%
4	1	Columnas	2.36	2.41	2.12%

5	2	Columnas	0.98	1.03	5.10%
6	3	Columnas	0.72	0.76	5.56%
7	1	Losas	14.51	16.63	14.61%
8	2	Losas	25.85	29.22	13.04%
9	3	Losas	17.09	18.81	10.06%

Posteriormente, se procedió a categorizar los valores individuales obtenidos por cada elemento constructivo en tres escenarios: optimista, probable y pesimista, según su magnitud relativa. Esta clasificación se presenta en la Tabla 30.

Tabla 30

Clasificación de los valores de desperdicio de concreto en optimista, probable y pesimista.

No. muestra	Elemento	Id (%)	Clasificación del valor
1	Zapatas	11.61%	Probable
2	Zapatas	14.12%	Pesimista
3	Zapatas	10.27%	Optimista
4	Columnas	2.12%	Optimista
5	Columnas	5.10%	Probable
6	Columnas	5.56%	Pesimista
7	Losas	14.61%	Pesimista
8	Losas	13.04%	Probable
9	Losas	10.06%	Optimista

A partir de esta categorización, se calcularon el índice de desperdicio esperado del concreto por cada elemento, aplicando la fórmula de estimación por tres valores.

$$Id\ zapatas = \frac{10.27 + (4 \times 11.61) + 14.12}{6} = 11.81\%$$

$$Id\ columnas = \frac{2.12 + (4 \times 5.10) + 5.56}{6} = 4.68\%$$

$$Id\ losas = \frac{10.06 + (4 \times 13.04) + 14.61}{6} = 12.81\%$$

4.2.2. Medición del desperdicio de Acero de refuerzo

El acero de refuerzo fue cuantificado en kilogramos (kg), considerando su uso en la conformación de elementos estructurales como zapatas, columnas y losas aligeradas. En el sector de la construcción en el municipio de Ocaña, el acero en las obras se compra por unidad de varilla con longitud comercial de 6 metros.

Cantidad teórica (Ct): fue calculada en oficina a partir de los planos estructurales proporcionados por las empresas constructoras. Se identificaron los elementos estructurales a cuantificar, específicamente columnas, losas y zapatas, y se calcularon las longitudes de varilla requeridas de acuerdo con el despiece de cada uno. Para estimar el peso total, se aplicaron los coeficientes de masa por metro lineal según el diámetro, establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, los cuales se presentan en la Figura 13. Este procedimiento permitió obtener una estimación precisa del consumo proyectado de acero en

kilogramos (kg) por cada actividad. Las cantidades teóricas de acero de refuerzo se presentan en la Tabla 31.

Figura 13

Dimensiones nominales y masa por metro lineal de barras de refuerzo.

TABLA C.3.5.3-2
DIMENSIONES NOMINALES DE LAS BARRAS DE REFUERZO
(Diámetros basados en octavos de pulgada)

Designación de la barra (véase la nota)	Diámetro de referencia en pulgadas	DIMENSIONES NOMINALES			Masa kg/m
		Diámetro mm	Area mm ²	Perímetro mm	
No. 2	1/4"	6.4	32	20.0	0.250
No. 3	3/8"	9.5	71	30.0	0.560
No. 4	1/2"	12.7	129	40.0	0.994
No. 5	5/8"	15.9	199	50.0	1.552
No. 6	3/4"	19.1	284	60.0	2.235
No. 7	7/8"	22.2	387	70.0	3.042
No. 8	1"	25.4	510	80.0	3.973
No. 9	1-1/8"	28.7	645	90.0	5.060
No. 10	1-1/4"	32.3	819	101.3	6.404
No. 11	1-3/8"	35.8	1006	112.5	7.907
No. 14	1-3/4"	43.0	1452	135.1	11.380
No. 18	2-1/4"	57.3	2581	180.1	20.240

Nota: El No. de la barra indica el número de octavos de pulgada del diámetro de referencia

Nota: Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Tabla C.3.5.3-2.

Tabla 31

Cantidades teóricas calculadas en las muestras de acero de refuerzo.

No. muestra	Elemento	Ct (kg)
1	Zapata	188.46
2	Zapata	276.24
3	Zapata	713.30
4	Columnas - Losa	2908.25
5	Columnas - Losa	5980.00
6	Columnas - Losa	3500.44

Cantidad utilizada en obra (Cu): fue determinada mediante el análisis de las remisiones de compra y los registros de salida de bodega, complementados con observaciones en campo. No se incluyeron en el cálculo los sobrantes no reutilizables, aquellos cortes cuya longitud impedía su aprovechamiento técnico en otras figuras, y que fueron descartados al cierre de cada actividad.

En la Tabla 32 se presentan los resultados individuales de las muestras analizadas para el acero de refuerzo, indicando las cantidades teóricas y utilizadas en campo, así como el Índice de Desperdicio (ID) calculado para cada caso, incluyendo el elemento estructural, la cantidad teórica (CT), la cantidad utilizada (CU) y el Índice de Desperdicio (ID) calculado para cada caso.

Tabla 32

Cantidades teóricas, utilizadas e índice de desperdicio para muestras de acero de refuerzo.

No. muestra	Elemento	Ct (kg)	Cu (kg)	Id (%)
1	Zapatas	188.46	208.74	10.76%
2	Zapatas	276.24	310.13	12.27%
3	Zapatas	713.30	782.21	9.66%
4	Columnas - Losa	2908.25	3026.44	4.06%
5	Columnas - Losa	5980.00	6295.44	5.27%
6	Columnas - Losa	3500.44	3725.04	6.42%

Posteriormente, en la Tabla 33 se presenta la categorización de los valores individuales obtenidos como optimista, probable o pesimista, de acuerdo con su magnitud.

Tabla 33

Clasificación de los valores de desperdicio de acero en optimista, probable y pesimista.

No. muestra	Id (%)	Clasificación del valor
1	10.76%	Probable
2	12.27%	Pesimista
3	9.66%	Optimista
4	4.06%	Optimista
5	5.27%	Probable
6	6.42%	Pesimista

A partir de esta categorización, se calcularon el índice de desperdicio esperado del acero de refuerzo por cada elemento, aplicando la fórmula de estimación por tres valores.

$$Id \text{ zapatas} = \frac{9.66 + (4 \times 10.76) + 12.27}{6} = 10.83\%$$

$$Id \text{ columnas} - \text{losas} = \frac{4.06 + (4 \times 5.27) + 6.42}{6} = 5.26\%$$

4.2.3. Medición del desperdicio del Bloque H-10.

El bloque H-10 fue cuantificado en unidades (und), considerando su uso como material principal en el levantamiento de muros divisorios en los proyectos de construcción residencial observados. En el contexto constructivo del municipio de Ocaña, el bloque utilizado presenta

dimensiones estándar de $10 \times 20 \times 30$ cm. Las mediciones se realizaron directamente durante las visitas técnicas, utilizando como base el Formato 001, el cual permitió registrar in situ las cantidades empleadas en obra.

Cantidad teórica (Ct): fue estimada a partir de los planos arquitectónicos suministrados por las empresas constructoras, determinando el área total del muro objeto de análisis. Se tuvo en cuenta la posición del bloque, sus dimensiones reales y la medida promedio de la junta de pega, registrada en campo. La cantidad teórica de bloques se calculó aplicando la siguiente ecuación:

$$Cantidad\ de\ bloque = \frac{\text{Área del muro}}{(\text{Área de bloque} + \text{Área de junta})}$$

Cantidad utilizada en obra (Cu): fue obtenida mediante conteo directo en obra de los bloques empleados en la ejecución del muro analizado, incluyendo aquellos que fueron colocados inicialmente y sustituidos por defectos. Este valor fue validado con el personal de obra.

En la Tabla 34 se presentan los resultados individuales de cada una de las muestras evaluadas en el análisis de desperdicio del material bloque H-10, incluyendo la cantidad teórica (Ct), la cantidad utilizada (Cu) y el Índice de Desperdicio (Id) calculado para cada caso:

Tabla 34

Cantidades teóricas, utilizadas e índice de desperdicio para muestras de Bloque H-10.

No. muestra	Ct (und)	Cu (und)	Id (%)
1	105	112	6.67%
2	99	101	2.02%
3	123	126	2.44%
4	115	120	4.35%
5	107	112	4.67%
6	146	155	6.16%

Luego se procede a categorizar los valores obtenidos como optimista, probable o pesimista, según su magnitud relativa, la cual se presenta en la Tabla 35.

Tabla 35

Clasificación de los valores de desperdicio de bloque H-10 en optimista, probable y pesimista.

No. muestra	Id (%)	Clasificación del valor
1	6.67%	Pesimista
2	2.02%	Optimista
3	2.44%	Optimista
4	4.35%	Probable
5	4.67%	Probable
6	6.16%	Pesimista

A partir de esta categorización, se calcularon los promedios representativos para cada grupo de escenarios, obteniendo los siguientes resultados:

- Valor optimista: 2.23 %
- Valor probable: 4.51 %
- Valor pesimista: 6.42 %

Finalmente, se estimó el índice de desperdicio esperado del material bloque H-10 aplicando la ecuación de estimación por tres valores (PERT).

$$Id \text{ bloque} = \frac{2.23 + (4 \times 4.51) + 6.42}{6} = 4.45\%$$

En la Tabla 36 se presentan los índices de desperdicio obtenidos para los materiales representativos evaluados en obra, discriminados por elemento constructivo. Los valores fueron calculados a partir de la información recolectada mediante auditoría de desperdicios y seguimiento directo a los procesos constructivos, considerando las diferencias entre las cantidades teóricas proyectadas y las cantidades realmente utilizadas. Esta información permite identificar los elementos y materiales con mayor incidencia en las pérdidas.

Tabla 36

Índices de desperdicio por material y elemento constructivo

Material	Elemento	Índice de desperdicio (%)
Concreto	Zapatas	11.81
	Columnas	4.68
	Losas	12.81
Acero	Zapatas	10.83

	Columnas – Losas	5.26
Bloque	Muros	4.45

Para la validación de los resultados, se llevó a cabo una revisión bibliográfica con el fin de identificar niveles de desperdicio reportados en estudios con similitud metodológica. Sin embargo, se evidenció que no existen referencias específicas sobre el índice de desperdicio (ID) del bloque H-10 en la literatura consultada. Ante esta ausencia, el valor obtenido en la presente investigación se contrastó con el índice empíricamente adoptado por el sector de la construcción, que corresponde a un 5 % de desperdicio para este material. De esta forma, se establece un punto de comparación que permite dimensionar la pertinencia del valor encontrado en obra. En la tabla 37 se presenta el material, el índice de desperdicio con su respectiva fuente de consulta.

Tabla 37

Comparación de índices de desperdicio obtenidos en obra con valores reportados en la literatura

Material	Elemento constructivo	Fuente	ID reportado en literatura (%)	Índice de desperdicio (%)
Concreto	Zapatas	(Patiño, 2010)	7.44	11.81
	Columnas	(Patiño, 2010)	6.36	4.68
	Losas	(Patiño, 2010)	6.53	12.81
Acero	Zapatas	(Almendariz & Ortiz, 2022)	6.77	10.83
	Columnas – Losas	(Almendariz & Ortiz, 2022)	6.77	5.26

Bloque				
H-10	Muros	—	-	4.45

En el caso del concreto, los valores obtenidos para zapatas de 11,81 % y losas de 12,81 % superan ampliamente los reportados por (Patiño, 2010), quien indica niveles del 7,44 % y 6,53 % respectivamente. Por el contrario, en columnas, el índice observado de 4,68 % fue inferior al de referencia de 6,36 %.

Respecto al acero, los resultados muestran un comportamiento inverso: en zapatas se alcanzó un índice de desperdicio de 10,83 %, por encima del 6,77 % reportado por (Almendariz & Ortiz, 2022) Sin embargo, en columnas y losas se obtuvo un valor inferior de 5,26 % frente al 6,77 % de referencia, lo que refleja que las pérdidas de este material se concentran en actividades de mayor complejidad de armado y cortes iniciales.

Finalmente, en el bloque H-10 no se identificaron valores de referencia en la literatura. Por ello, el índice encontrado de 4,45 % se contrastó con el valor empírico adoptado en el sector de la construcción, equivalente al 5 %.

4.3 Proponer estrategias mediante la aplicación de principios y/o herramientas de Lean

Construction para la reducción del desperdicio en proyectos residenciales del municipio de Ocaña Norte de Santander.

Para la propuesta de estrategias orientadas a la reducción del desperdicio de materiales en proyectos de construcción residenciales del municipio de Ocaña, se tomó como punto de partida la clasificación de las causas raíz identificadas en obra, organizadas según los ocho tipos de desperdicio de la filosofía Lean Construction. A partir de este análisis se seleccionaron las herramientas más pertinentes, garantizando la correspondencia entre el problema y la solución planteada. En este contexto, la estandarización de procesos se utilizó para definir protocolos técnicos claros y reducir la variabilidad en actividades críticas; la metodología 5S se aplicó para mejorar el orden, la limpieza y la organización de los espacios de trabajo; mientras que el Last Planner System (LPS) y la filosofía Justo a Tiempo (JIT) se adoptaron para fortalecer la coordinación de actores y la sincronización logística.

De manera transversal, las estrategias integran la planificación colaborativa y la mejora continua como principios superiores. Esto implica no solo proponer medidas técnicas para reducir pérdidas de material, sino también generar dinámicas participativas como reuniones semanales de planificación, tableros visuales de control y encuentros breves diarios, además de la programación conjunta con proveedores bajo esquemas JIT. A su vez, se plantea la aplicación del ciclo Plan–Do–Check–Act (PDCA), entendido como un método de mejora continua que consiste en planear las acciones, ejecutarlas, verificar sus resultados y ajustar los procedimientos

en función de la retroalimentación obtenida. Con este enfoque, las estrategias formuladas trascienden lo conceptual y se consolidan como acciones prácticas que promueven un flujo continuo de materiales y actividades en obra.

4.3.1. Estrategias para la reducción del desperdicio de Concreto.

Estrategia 1: Definir y organizar una zona adecuada para la preparación del concreto en obra.

La preparación de la mezcla de concreto en lugares inadecuados genera recorridos innecesarios, incrementa el tiempo de transporte y aumenta la pérdida de material antes del vaciado. Esta situación afecta la productividad y eleva el índice de desperdicio, por lo que es necesario definir un procedimiento y una ubicación óptima para esta actividad.

Análisis de causa raíz:

- Falta de espacio y topografía desfavorable en áreas cercanas al punto de vaciado.
- Ausencia de supervisión técnica y participación de personal no calificado.
- Falta de planificación y análisis previo para seleccionar el lugar de mezcla.
- Ubicación inadecuada de la mezcladora y uso de equipos deteriorados.
- Improvisación en la elección del área de trabajo.

Herramienta Lean: La estandarización de procesos es la herramienta principal, dado que el problema central radica en la inexistencia de un procedimiento técnico y un análisis previo para determinar la ubicación óptima. La metodología 5S se incorpora como herramienta complementaria para garantizar el orden y la limpieza del área, evitando la acumulación de elementos innecesarios.

Acciones propuestas:

1. Antes de la fundida, ubicar y preparar el área de mezcla considerando espacio, topografía, flujo de obra y disponibilidad de materiales, para reducir recorridos y pérdidas.
2. Aplicar principios de la metodología 5S para mantener el área organizada, limpia y libre de elementos innecesarios.
3. Capacitar al personal sobre la importancia de la ubicación estratégica y las prácticas para reducir pérdidas de material.
4. Implementar señalización y rutas internas definidas para el transporte del concreto desde la mezcla hasta el punto de vaciado.
5. Realizar inspecciones periódicas para verificar que el área y las condiciones de trabajo se mantengan conforme a lo planificado.
6. Aplicar el ciclo PDCA, registrando los indicadores de desperdicio generados en cada vaciado, analizarlos en reuniones de retroalimentación que involucre a diferentes actores claves y ajustar la ubicación de mezcla en función de los resultados.

Estrategia 2: Estandarizar el proceso de instalación y verificación de encofrados

Los problemas en el armado de encofrados provocan filtraciones de concreto, deformaciones y defectos que requieren retrabajos, aumentando el consumo de material y el tiempo de ejecución.

La falta de criterios técnicos claros y de controles previos al vaciado ha sido un factor determinante en este desperdicio.

Análisis de causa raíz:

- Superficies de apoyo inestables que comprometen la alineación.
- Falta de supervisión técnica y uso de mano de obra no calificada.
- Empleo de encofrados deteriorados.
- Uso de técnicas artesanales sin verificación previa al vaciado.
- Ausencia de herramientas específicas para ajuste y aseguramiento.

Herramienta Lean: La estandarización de procesos es la herramienta principal, ya que el problema central requiere un procedimiento técnico que regule el montaje, ajuste y validación de encofrados antes del vaciado.

Acciones propuestas:

1. Antes del montaje, verificar la estabilidad de la superficie de apoyo y las condiciones de los encofrados a utilizar.
2. Aplicar un procedimiento estandarizado para la instalación, ajuste y aseguramiento de encofrados, definiendo pasos y criterios técnicos claros.
3. Implementar un protocolo de inspección previa que valide alineación, estabilidad y estanqueidad antes del vaciado.
4. Establecer criterios de reutilización, definiendo el número máximo de usos y las condiciones mínimas de servicio de los encofrados.
5. Capacitar al personal en técnicas correctas de montaje y verificación de encofrados.
6. Asignar un supervisor técnico que autorice el inicio del vaciado únicamente si se cumplen las condiciones establecidas.
7. Aplicar el ciclo PDCA verificando periódicamente los resultados de calidad de los encofrados, documentar las no conformidades y retroalimentar el procedimiento para mejorar el montaje en futuros vaciados.

Estrategia 3: Planificar y controlar el transporte interno de concreto

El transporte interno del concreto es un punto crítico para garantizar su calidad y evitar pérdidas. La falta de coordinación entre la preparación y el vaciado, junto con rutas inadecuadas, medios de transporte deficientes y manipulación inapropiada, genera acumulaciones de mezcla, derrames, demoras y disminución de la trabajabilidad del material.

Análisis de causa raíz:

- Rutas incómodas con obstáculos que dificultan el traslado.
- Derrames por manipulación brusca y descuido.
- Preparación de mezclas con consistencia inadecuada.
- Falta de control del tiempo entre la mezcla y el vaciado.
- Uso de medios de transporte deteriorados o no apropiados.

Herramienta Lean: Las herramientas principales son Last Planner System (LPS) y Justo a Tiempo (JIT), ya que el problema central se origina en la falta de coordinación y sincronización entre la preparación y el vaciado. Como herramienta complementaria se emplea la estandarización de procesos para definir rutas, medios y condiciones de transporte.

Acciones propuestas:

1. Ajustar el ritmo de preparación de la mezcla al flujo real de transporte y vaciado, coordinando actividades mediante LPS y JIT para evitar acumulaciones y pérdida de trabajabilidad, complementado con reuniones semanales de planificación y uso de tableros visuales en obra para registrar compromisos y avances.
2. Verificar la consistencia de la mezcla antes del transporte y realizar ajustes inmediatos si es necesario para asegurar la calidad en el punto de vaciado.

3. Definir y mantener rutas internas seguras, señalizadas y libres de obstáculos, especificando en un procedimiento técnico los medios de transporte, tiempos máximos de traslado y responsables de la tarea.
4. Emplear técnicas de manipulación cuidadosa y, cuando sea posible, adaptar los medios de transporte con elementos simples como bordes elevados para evitar derrames.
5. Mantener en condiciones óptimas carretillas, baldes y demás medios de transporte mediante un programa de mantenimiento preventivo y correctivo.
6. Capacitar al personal en transporte seguro y eficiente del concreto, incluyendo sincronización con la preparación y técnicas para prevenir pérdidas.
7. Aplicar el ciclo PDCA evaluando los resultados de las estrategias de transporte, registrar los desperdicios generados y retroalimentar los procedimientos de traslado para reducir pérdidas en futuros vaciados.

4.3.2. Estrategias para la reducción del desperdicio de Acero de refuerzo.

Estrategia 4: Implementar un sistema de organización y almacenamiento de acero en obra.

El almacenamiento inadecuado del acero genera pérdidas por deterioro, dificulta la identificación de longitudes y diámetros, y propicia compras innecesarias debido a la falta de control de inventario. La ausencia de un protocolo estandarizado para su manejo limita la trazabilidad y eficiencia en obra.

Análisis de causa raíz:

- Acumulación de acero sin registro ni clasificación.
- Falta de sistema de control de inventario.
- Inexistencia de procedimiento técnico de almacenamiento.
- Carencia de coordinación entre compras, programación y ejecución.
- Ausencia de responsable asignado para la gestión del material.

Herramienta Lean: La estandarización de procesos es la herramienta principal, ya que el problema central radica en la inexistencia de un procedimiento formal para la recepción, clasificación y control de inventario del acero. La metodología 5S se incorpora como herramienta complementaria para mantener el área organizada, señalizada y con control visual.

Acciones propuestas:

1. Establecer un procedimiento claro para la recepción, registro, clasificación y almacenamiento del acero, incluyendo responsables y pasos específicos.
2. Implementar un sistema de identificación rápida (etiquetado o codificación por colores) para diferenciar diámetros y longitudes.
3. Delimitar y señalizar las áreas de almacenamiento, asignando espacios específicos para cada tipo de acero y manteniéndolos libres de obstáculos.

4. Asignar un responsable del control de inventario encargado de aplicar el procedimiento, registrar entradas y salidas, y verificar el orden.
5. Usar formatos simples o herramientas digitales para el registro actualizado del inventario, ubicación y estado del material.
6. Involucrar al proveedor en la programación de cortes y entregas bajo esquema Justo a Tiempo (JIT), evitando acopios innecesarios y pérdida de trazabilidad.
7. Aplicar el ciclo PDCA midiendo en una ventana de tiempo las pérdidas por almacenamiento y oxidación, revisar en reuniones de obra los hallazgos y ajustar el protocolo de inventario y clasificación del acero.

Estrategia 5: Estandarizar la medición, trazado y corte de acero.

Los cortes defectuosos de acero, originados por mediciones inexactas, herramientas inadecuadas o falta de planificación, generan desperdicio de material y retrasos en obra. La ausencia de un procedimiento estandarizado y de criterios claros para el aprovechamiento de sobrantes incrementa las pérdidas.

Análisis de causa raíz:

- Errores de medición y sobrantes no reutilizables.
- Ausencia de planificación previa con registro de longitudes requeridas.
- Cortes improvisados sin trazado.

- Inexistencia de procedimiento estandarizado.
- Falta de supervisión directa en la actividad.

Herramienta Lean: La estandarización de procesos es la herramienta principal, ya que el problema central es la falta de un método formal para medir, trazar y cortar el acero con precisión.

Acciones propuestas:

1. Utilizar un formato previo para registrar las longitudes requeridas antes de iniciar el corte, optimizando el aprovechamiento de barras y sobrantes.
2. Emplear herramientas de medición y corte en buen estado y adecuadas al diámetro del acero.
3. Capacitar al personal en la correcta aplicación del procedimiento y en el uso de herramientas apropiadas.
4. Asignar un responsable para validar las mediciones antes de ejecutar el corte y supervisar la correcta ejecución.
5. Llevar un registro de cortes, sobrantes y su reutilización para análisis y mejora continua del proceso.
6. Aplicar el ciclo PDCA registrando sobrantes y errores de corte en cada actividad, analizarlos con el personal responsable y actualizar los formatos o criterios de trazado para optimizar el uso de varillas en futuros cortes.

4.3.3. Estrategias para la reducción del desperdicio de Bloque H-10

Estrategia 6: Estandarizar el proceso de transporte interno del bloque H-10.

El transporte inadecuado de los bloques H-10 dentro de la obra provoca fracturas que generan pérdidas totales del material y retrasos en la ejecución. La movilización empírica, la falta de medios adecuados y la ausencia de procedimientos incrementan el riesgo de daño

Análisis de causa raíz:

- Transporte sin protección y manipulación empírica.
- Falta de medios adecuados para movilizar bloques.
- Ausencia de procedimiento técnico para la actividad.
- No se considera el transporte de bloques como actividad crítica en la planificación.
- Falta de supervisión y control durante la movilización.

Herramienta Lean: La estandarización de procesos es la herramienta principal, ya que el problema central es la ausencia de un método definido y controlado para transportar bloques H-10 de forma segura y eficiente. Como herramienta complementaria se emplea Last Planner System (LPS) para coordinar la llegada y ubicación del material, asegurando que esté disponible en el momento y lugar adecuados para reducir recorridos y manipulaciones.

Acciones propuestas:

1. Definir un procedimiento para el transporte interno de bloques H-10, estableciendo rutas seguras, medios apropiados y pasos de manipulación segura.
2. Planificar semanalmente la llegada de material mediante LPS, ubicando el bloque H-10 lo más cerca posible del lugar donde se construirá el muro, con participación de cuadrillas en la definición de rutas seguras.
3. Utilizar medios de transporte en buen estado y adaptados al peso y dimensiones de los bloques.
4. Señalizar y mantener libres de obstáculos las rutas internas desde el acopio hasta el punto de instalación.
5. Capacitar al personal en el manejo seguro de bloques y en el uso correcto de los medios de transporte.
6. Aplicar el ciclo PDCA llevando el control del número de bloques fracturados en cada jornada, evaluar los resultados y retroalimentar el procedimiento de transporte, corrigiendo rutas, medios o técnicas de manipulación.

Es importante señalar que, si bien las estrategias Lean formuladas en este trabajo, en especial aquellas relacionadas con la planificación colaborativa mediante Last Planner System (LPS) y la gestión de insumos bajo la filosofía Justo a Tiempo (JIT) fueron presentadas como recomendaciones prácticas, su implementación directa en campo no fue posible dentro del alcance de esta investigación. La naturaleza exploratoria del estudio se centró en identificar

causas de desperdicio y diseñar propuestas de mitigación, por lo que la validación empírica mediante pruebas piloto locales en proyectos del municipio queda planteada como una línea de investigación futura. No obstante, la coherencia entre los hallazgos en obra, la revisión bibliográfica y la validación cruzada presentada en la Tabla 38 otorgan un sustento técnico sólido, verificando que la elección de cada herramienta Lean responde directamente a la naturaleza del problema y que las acciones propuestas están alineadas con los principios de Lean Construction, lo que permite considerarlas aplicables al contexto constructivo de Ocaña y constituyen una base firme para posteriores fases de implementación y evaluación.

Tabla 38

Validación de coherencia entre causas raíz, herramientas Lean y estrategias propuestas

Material – Estrategia	Causa raíz principal	Herramienta Lean	Justificación
Concreto – Estrategia 1	Falta de análisis previo y ubicación óptima para la mezcla; improvisación en área de trabajo	Estandarización de procesos + 5S + PDCA	Se requiere procedimiento técnico previo para definir ubicación óptima; 5S mantiene orden y limpieza en el área; el ciclo PDCA permite evaluar los resultados y retroalimentar la ubicación y el protocolo de mezcla en futuros vaciados.
Concreto – Estrategia 2	Falta de criterios técnicos y verificación previa en encofrados; superficies inestables	Estandarización de procesos + PDCA	Permite regular montaje, ajuste y validación de encofrados con pasos claros; PDCA garantiza la retroalimentación de resultados (estanqueidad, calidad) para mejorar continuamente el proceso de instalación.

Concreto – Estrategia 3	Falta de coordinación entre preparación y vaciado; rutas inadecuadas y medios deficientes	Last Planner System + Justo a Tiempo + Estandarización + PDCA	LPS y JIT sincronizan actividades y ajustan tiempos; estandarización define rutas y medios de transporte; planificación colaborativa mediante reuniones y tableros visuales fortalece la coordinación; PDCA asegura evaluación y mejora continua del transporte interno.
Acero – Estrategia 4	Falta de procedimiento e inventario; almacenamiento desorganizado	Estandarización de procesos + 5S + JIT + PDCA	Procedimiento formal garantiza control y trazabilidad; 5S mantiene orden y control visual; involucrar al proveedor en entregas bajo JIT evita acopios excesivos; PDCA permite medir pérdidas y ajustar protocolos de almacenamiento e inventario.
Acero – Estrategia 5	Errores de medición y cortes improvisados; falta de planificación previa	Estandarización de procesos + PDCA	Define método preciso para medir, trazar y cortar; PDCA permite registrar sobrantes, analizar errores y retroalimentar el procedimiento para optimizar el uso de varillas.
Bloque H- 10 – Estrategia 6	Manipulación empírica y sin protección; ausencia de medios adecuados; falta de planificación	Estandarización de procesos + Last Planner System + PDCA	Procedimiento estandarizado asegura manipulación y transporte seguro; LPS planifica llegada y ubicación del bloque cerca al punto de instalación con participación de cuadrillas; PDCA permite evaluar daños y retroalimentar el proceso de transporte.

Conclusiones

La investigación permite establecer una visión integral que parte de la identificación de causas, continúa con la cuantificación de niveles de pérdida y culmina con la propuesta de estrategias orientadas a su reducción mediante principios de Lean Construction.

Las causas del desperdicio se diferencian de acuerdo con el material. En el concreto, las pérdidas se generan por la preparación de mezclas en lugares inadecuados, las fallas en encofrados y las deficiencias en el transporte interno. En el acero de refuerzo, los cortes defectuosos y el almacenamiento inadecuado son los principales factores de pérdida, mientras que en el bloque H-10 predomina la fractura de unidades durante el traslado. Estos hallazgos muestran que el desperdicio no responde únicamente a las propiedades físicas de los materiales, sino a fallas de planificación, organización y control en obra.

Los niveles de desperdicio medidos en campo confirman la magnitud del problema. El concreto presenta los índices más altos, especialmente en zapatas y losas, con valores de referencias. El acero alcanza pérdidas relevantes en las fases iniciales de armado y corte, aunque registra un mejor comportamiento en columnas y losas. En el bloque H-10, el índice se aproxima al cinco por ciento, principalmente por problemas de transporte. Estos datos demuestran que el desperdicio de materiales constituye un factor estructural que limita la eficiencia productiva, incrementa los costos y genera impactos ambientales que deben ser atendidos con urgencia.

Las estrategias formuladas con base en Lean Construction ofrecen una ruta viable para reducir las pérdidas en los proyectos residenciales de Ocaña. La estandarización de procesos se posiciona como la herramienta central para disminuir la variabilidad y garantizar uniformidad en la ejecución. La metodología 5S resulta pertinente en contextos de desorden y falta de organización, mientras que Last Planner System y Justo a Tiempo responden a la necesidad de sincronización y coordinación entre actores y actividades. De manera transversal, se plantea la aplicación del ciclo Plan–Do–Check–Act (PDCA), que permite transformar los indicadores de desperdicio en insumos de retroalimentación para ajustar y perfeccionar los procedimientos en obra. En conjunto, estas propuestas fortalecen la planificación colaborativa y la mejora continua, y representan un paso hacia la adopción de prácticas constructivas más sostenibles y competitivas en el ámbito local.

En conclusión, la investigación demuestra que el desperdicio de materiales en Ocaña es un problema real, medible y con causas claramente identificadas, cuyos impactos pueden mitigarse mediante la aplicación de principios Lean. El trabajo aporta indicadores confiables y estrategias contextualizadas que sientan las bases para transformar los procesos constructivos locales, contribuyendo a la optimización de recursos, la sostenibilidad ambiental y la consolidación de una cultura de eficiencia en la industria de la construcción.

Recomendaciones

El estudio fundamenta la reducción de desperdicios en principios de Lean Construction, especialmente en la identificación de causas raíz y en la estandarización de procesos aplicados a materiales representativos. No obstante, el alcance se sitúa en un nivel de diagnóstico y proposición, sin validar empíricamente en obra herramientas como LPS, JIT o PDCA, lo que constituye un aspecto a desarrollar en futuras investigaciones.

Se recomienda implementar planes piloto en proyectos residenciales de Ocaña que permitan comprobar en condiciones reales la eficacia de las estrategias Lean propuestas, tales como Last Planner System, Justo a Tiempo, 5S y el ciclo PDCA. Estas acciones deben acompañarse de programas de capacitación continua y de espacios de planificación colaborativa entre ingenieros, maestros de obra y proveedores, con el fin de asegurar la apropiación práctica de las herramientas.

También resulta pertinente ampliar la definición de desperdicio hacia dimensiones que incluyan tiempos no productivos, defectos y retrabajos, estableciendo un sistema permanente de identificación y control en obra. Este sistema puede apoyarse en bases de datos comparativas, tableros de control y recursos tecnológicos que fortalezcan la trazabilidad de los materiales y conviertan los indicadores en aprendizajes organizacionales.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones extiendan el análisis a más materiales, incorporen la evaluación de impactos económicos y ambientales, e integren tecnologías digitales para el monitoreo en tiempo real. De esta manera, será posible consolidar un sistema Lean integral y sostenible que reduzca desperdicios y fortalezca la eficiencia de la construcción residencial en Ocaña.

Referencias

- Acevedo Agudelo, H., Vásquez Hernández, A., & Ramírez Cardona, D. A. (2012). Sostenibilidad: actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 105–118. <http://www.bdigital.unal.edu.co/31618/>
- Almendariz Rodríguez, C. E., & Ortiz Aguirre, I. J. (2022). Determinación de porcentaje de desperdicios del acero estructural de refuerzo en diversos elementos de hormigón armado perteneciente a la estructura de una vivienda de dos plantas. *RECIAMUC*, 6(1), 25–39. <https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.1.enero.2022.25-39>
- American Concrete Institute. (2002). *ACI 211.1 – Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete* (Reapproved 2009). ACI.
- Andreas, K., & Cuadra, K. (2021). *Diseño de guías con estrategias para la aplicación de economía circular y Lean Construction en proyectos de viviendas industrializadas* [Trabajo de titulación, Universidad de Chile]. Repositorio Académico Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/180559/Dise%C3%B1o-de-guias-con-estrategias-para-la-aplicacion-de-economia-circular-y-Lean-Construction-en-proyectos-de-viviendas-industrializadas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Angarita-Uscategui, P. N., & Durán-Durán, S. (2017). Análisis de procesos que afectan el éxito de las obras de construcción en las diferentes fases del proyecto de acuerdo con metodologías internacionales en Ocaña, Norte de Santander. *Revista Ingenio*, 13(1), 10–19.
<https://doi.org/10.22463/2011642X.2131>

Arias, C., & Mahecha, L. (2021). *Análisis de los sistemas constructivos vernaculares respecto a los sistemas convencionales de construcción que se desarrollan en el municipio de Ocaña, Norte de Santander* [Trabajo de grado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional UFPSO.
<https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/handle/20.500.14167/1573>

Ashqui Alulema, A., & Pulgar Sánchez, J. (2017). *Relación entre desperdicio de materiales y desperdicio de mano de obra en la ejecución de los proyectos de construcción* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Chimborazo].
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4194>

Asociación Nacional de Empresarios de Colombia – ANDI. (2022). *La construcción será protagonista en el crecimiento económico de 2022*.
<https://www.andi.com.co/Home/Noticia/17185-la-construccion-sera-protagonista-en-el>

Ballard, G. (2016). Lean construction. En T. B. K. (Ed.), *The Routledge companion to lean management* (pp. 441–460). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315686899>

Bautista Caicedo, C. A., & Romero Guevara, A. F. (2019). *Evaluación y elaboración de tablas de rendimientos de obra en proyectos de construcción* [Trabajo de grado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia].

Caballero, S. O., Zambrano, B. O., & Ponce, E. B. (2018). Estado actual de la aplicación de la metodología Lean Construction en la gestión de proyectos de construcción en Colombia. *Ingeniare*, 25(2), 39–65. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.25.5968>

Cabrera, H., & González, A. (2018). *Desperdicio de materiales en obras de construcción civil: Métodos de medición y control* [Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral].

Casadiegos-Pérez, L. (2018). *Evaluación ambiental del impacto generado por la construcción de vivienda nueva de interés social rural dispersa en el corregimiento de Aguas Claras, Ocaña, Norte de Santander* [Trabajo de grado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional UFPSO.

<https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/handle/20.500.14167/4855>

CEMEX Colombia. (2023). *Ficha de datos de seguridad – Cemento*. <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757355/FDS-cemento-cemex-colombia.pdf>

Chávez Cabrera, C. E. (2016). *Evaluación del porcentaje de desperdicios de materiales de construcción civil: Medición y método de control* [Trabajo de grado, Universidad Privada del Norte].

Chen, K., Wang, J., Yu, B., Wu, H., & Zhang, J. (2021). Critical evaluation of construction and demolition waste and associated environmental impacts: A scientometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125071.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125071>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2023). *Proyecciones de población*. Gobierno de Colombia. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

Díaz, H. P., Rivera, S. G., & Guerra, G. A. (2014). Lean Construction philosophy for the management of construction projects: A current review. *Avances en Investigación en Ingeniería*, 11(1), 43–55.

Emmanue, G. N. J. (2023). *Implementación de la filosofía Lean Construction mediante la herramienta Last Planner System (LPS) para proyectos modulares y sostenibles en la constructora* [Trabajo de grado, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/2238/15093>

Galarza Meza, M. P. (2014). *Desperdicio de materiales en obras de construcción civil: Métodos de medición y control* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú].

Gálvez-Martos, J.-L., Styles, D., Schoenberger, H., & Zeschmar-Lahl, B. (2018). Construction and demolition waste best management practice in Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.016>

García-Parra, M., De la Barrera, F., Plazas-Leguizamón, N., Colmenares-Cruz, A., Cancimance, A., & Soler-Fonseca, D. (2022). The Sustainable Development Goals in America: Overview. *La Granja*, 36(2), 25–41. <https://doi.org/10.17163/lgr.n36.2022.04>

Hernández-Moreno, S. (2008). Diseño sustentable de materiales de construcción: Caso del concreto de matriz de cemento Pórtland. *Ciencia Ergo Sum*, 15(3), 306–310. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5035061>

Hincapié, C., Leal, L., Villamizar, N., & Gil, J. (2020). El impacto de Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción en Colombia. *Revista Ingenio*, 16(1), 45–56.

Lu, W., Chen, X., Peng, Y., & Shen, L. (2015). Benchmarking construction waste management performance using big data. *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.013>

Medina, J., Vásquez, S., & Raúl, N. (s.f.). Influencia en la aplicación de la metodología Lean Construction en obras de construcción [Manuscrito inédito].

Michalski, A., Głodziński, E., & Böde, K. (2022). Lean construction management techniques and BIM technology – Systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 196, 1036–1043. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.107>

Mora, J. (2021). Reciclaje y reutilización de materiales de construcción en Colombia como aporte a la economía circular. *Ciencia Unisalle*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/971

Mozo, M. del M. (2021). *Memoria justificativa* [Informe técnico, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia]. https://www.minambiente.gov.co/images/Atencion_y_participacion_al_ciudadano/consultas_publicas_2021/nueva_seccion_actividades_requisitos_procedimiento_sustraccion_reservas_forestales.zip

Muñoz Boada, E. S., & Díaz Salazar, A. F. (2022). *Factores de éxito para la reducción del desperdicio de materiales de construcción: Una consulta a profesionales del sector en Bogotá* [Tesis de maestría, Universidad Católica de Colombia].

Muñoz, S. P., Gómez, N. M., & Ticona, J. R. (2022). Una revisión del impacto de la adopción de la metodología Lean Construction en los proyectos de construcción. *Cuaderno Activa*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.53995/20278101.1050>

Nawaz, A., Chen, J., & Su, X. (2023). Factors in critical management practices for construction projects waste predictors to C&DW minimization and maximization. *Journal of King Saud University – Science*, 35(2), 102512. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102512>

Patiño Vallejo, L. E. (2010). *Determinacion y Analisis del Porcentaje de desperdicio de los materiales producidos en la Construcción de Viviendas de la Urbanización "Altos de Tulcan"*. Popayán: Universidad del Cauca.

Restrepo Ramírez, A. (2020). *Implementación de la metodología Lean en empresas constructoras* [Trabajo de especialización, Universidad Militar Nueva Granada].

Rojas, M. D., Henao Grajales, M., & Valencia Corrales, M. E. (2017). Lean Construction bajo pensamiento Lean. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(30), 115–128. <https://doi.org/10.22395/rium.v16n30a6>

Ruiz Muñoz, N. A. (2018). *Análisis de los desperdicios del concreto y su incidencia en el presupuesto final* [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

Solano, E., Castellanos, S. J., Hernández, & López, M. (2009). Bibliometry: An efficient tool to assess the postgraduate scientific activity. *Medisur*, 7(4), 291–294.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2009000400011

Suárez-Silgado, S. S., Betancourt Quiroga, C., Molina Benavides, J., & Mahecha Vanegas, L. (2019). La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: Estado actual, barreras e instrumentos de gestión. *Entramado*, 15(1), 224–244.
<https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.5408>

Think Productivity. (s.f.). Lean Construction: ¿Es para mí? *Think Productivity*.
<https://think-productivity.com/lean-construction-es-para-mi-2/>

Wen, B., Musa, S. N., Onn, C. C., Ramesh, S., Liang, L., Wang, W., & Ma, K. (2020). The role and contribution of green buildings on sustainable development goals. *Building and Environment*, 185, 107091. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107091>

Wuni, I. Y. (2022). Mapping the barriers to circular economy adoption in the construction industry: A systematic review, Pareto analysis, and mitigation strategy map. *Building and Environment*, 223, 109453. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109453>

Apéndices

Apéndice A – Formato 001

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER SECCIONAL OCAÑA	
PROGRAMA DE POSGRADO: MAESTRIA EN CONSTRUCCION	
FORMATO 001	TOMA DE MUESTRAS DESPERDICIO DE MATERIALES
TRABAJO DE GRADO	DESPERDICIOS DE MATERIALES
ESTUDIANTE	ALVARO JOSE QUINTERO ROJAS - 780055

INFORMACION GENERAL

Proyecto		Actividad Constructiva			
Empresa		Unidad de medida		Nº de muestra	
Especificaciones técnicas					

CONSUMO DE MATERIALES

Ítem	Material	Observación

CAUSAS OBSERVADAS
