



GUÍA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LISTADO DE VERIFICACIÓN BASADO EN LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA NO ESTRUCTURAL

Presentado por:

Leider Iván Cifuentes Russy, Maritzabel Salazar Castillo, Jeider Julián Tafur Ramírez.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Dirección de Construcción de Edificaciones “EDCE”

Profesor: Yenny Yolanda Ortiz Bernal
Docente opción de Grado

Corporación Universitaria Minuto de Dios
Rectoría Bogotá
Bogotá Presencial
Facultad de Ingeniería
Especialización en Dirección de Construcción de Edificaciones
2024

Tabla de contenido

Introducción	14
Justificación.....	15
Planteamiento del problema	16
Pregunta problema.....	18
Objetivos.....	18
Objetivo general	18
Objetivos específicos.....	19
Capítulo I. Alcance	20
1.1 Marco referencial.....	20
1.2 Aspectos metodológicos.....	26
1.3 Cronograma	28
1.4 Presupuesto.....	29
Capítulo 2. Desarrollo de los objetivos.....	30
2.1 Traslapo de refuerzo vertical	36
2.2 Anclajes	38
2.3 Plomo de muros	42
2.4 Redes hidráulicas.....	43
2.5 Mortero de pega.....	44
2.6 Desarrollo del listado de verificación.....	48
2.7 Implementación del listado de verificación.....	58
2.8 Impacto de la implementación del listado de verificación	59

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LISTADO DE VERIFICACIÓN BASADO EN LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION	3
Conclusiones y recomendaciones	67
Referencias.....	69
Anexos	73

Lista de tablas

Tabla 1 Tolerancias constructivas para muros de mampostería.	26
Tabla 2 Cronograma.	28
Tabla 3 Presupuesto.	29
Tabla 4 Inventario completo de los requisitos, generales y complementarios, en el orden en que lo dispone la nomenclatura de la norma.	31
Tabla 5 Tolerancias constructivas para muros de mampostería.	45
Tabla 6 Tolerancias constructivas para muros de mampostería.	52
Tabla 8 Resultados rendimientos promedios diarios.	64

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Porcentaje de Reprocesos..... 27

Ecuación 2. Rendimiento promedio diario. 60

Lista de figuras

Figura 1 Plano General Mampostería diseño de elementos no estructurales.....	37
Figura 2 Traslapo ejecutado de forma inadecuada, Muro entre los ejes C-C' y eje 3A -3ª.....	38
Figura 3 Plano General Mampostería diseño de elementos no estructurales.....	39
Figura 4 Plano General Mampostería diseño de elementos no estructurales.....	40
Figura 5 Anclaje incorrecto, muro eje G entre 1 y 2.	41
Figura 6 Desplome de muro no estructural - Eje 3ª' entre A y B	42
Figura 7 Instalación Hidráulica, Muro 3A entre C y D.	43
Figura 8 Mortero de pega. muro del eje 1 entre F y G.....	46
Figura 9 Rendimiento Promedio Semanal.	65

Lista de anexos

Anexo 1. Formato listado de verificación.....	73
Anexo 2. Rendimientos: Semana 1	74
Anexo 3. Rendimientos: Semana 2.....	74
Anexo 4. Rendimientos: Semana 3.....	75
Anexo 5. Rendimientos: Semana 4.....	75
Anexo 6. Rendimientos: Semana 5.....	76
Anexo 7. Rendimientos: Semana 6.....	76
Anexo 8. Planta Arquitectónica caso de estudio, bodega de almacenamiento de material de construcción	77
Anexo 9. Plano de diseño de elementos no estructurales caso de estudio, bodega de almacenamiento de material de construcción	78

Glosario

El siguiente glosario se tomó del título D del “Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR-10 de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS]” (2010).

Adsorción: volumen de agua absorbida por los poros de la unidad con relación a peso seco.

Acción compuesta: traspaso de cargas entre los distintos componentes de un elemento, que se diseña con el fin de que resista las cargas, de modo que dichos componentes actúan conjuntamente como un único elemento.

Adherencia: adhesión y unión del concreto o mortero al refuerzo sobre otras superficies junto con las que se coloca. Capacidad del mortero para atender esfuerzos normales y tangenciales a la superficie que lo une en la estructura (Afanador et al., 2012).

Aditivo: cualquier sustancia distinta al agua, como cemento, agregados y refuerzos. Este se emplea como ingrediente del mortero o concreto y se añade a la mezcla antes o después de hacerla.

Altura libre efectiva: Distancia libre entre elementos que proveen apoyo lateral y que se emplea para calcular la relación de esbeltez del muro o columna (Díaz y Abreu, 2017).

Antepecho: Muro de altura inferior a la del piso que configura la parte inferior de un balcón o una ventana.

Aparejo: Patrón de colocación de las unidades de mampostería (Fonseca, 2018).

Aparejo trabado: Patrón de colocación de las unidades de mampostería traslapadas con las unidades superiores e inferiores, al menos en un cuarto de la longitud de la pieza (Fonseca, 2018).

Arcilla cocida (cerámica): Mezcla de arcilla, sílice y otros componentes menores, moldeada y que se ha sometido a temperaturas altas por un tiempo prolongado (García et al., 2012).

Barra de empalme: refuerzo que transporta por adherencia la carga entre el elemento de soporte y el refuerzo longitudinal de un muro, en el que se ancla de forma correcta.

Bloque: es una clase de pieza de mampostería, la cual presenta huecos.

Bloque de perforación horizontal: es un bloque de concreto o arcilla cuyas perforaciones son horizontales y se asienta sobre la cara que no tiene huecos (Criales et al., 2018).

Bloque de perforación vertical: bloque de arcilla o concreto con perforaciones verticales, las cuales forman celdas donde se sitúa el refuerzo. En las celdas donde haya refuerzo vertical debe colocarse mortero de relleno (Criales et al., 2018).

Cabezal: Parte extrema de un elemento estructural.

Celda: Cavidad continúa al interior de la mampostería (Criales et al., 2018).

Cemento de mampostería: Cemento hidráulico producido para usarse en mortero de pega y que genera mayor plasticidad y retención de agua que los obtenidos a través del cemento Portland (Arteta, 2000).

Conector: elemento mecánico usado que junta más de dos partes.

Cuantía: Relación entre el área transversal del refuerzo y el área bruta de la sección considerada (Castilla y Villalobos, 1997).

Dimensiones nominales: La unidad de mampostería tiene dimensiones modulares, incluyendo espesores y acabados. No deben exceder los 10 mm a las dimensiones verdaderas.

Dimensiones reales: dimensiones externas de elaboración de la pieza.

Elemento de borde: zonas finales de los muros que soportan cargas en un plano, se fortifican y limitan para cumplir con los requerimientos. Estos pueden ser de igual o mayor espesor que el muro.

Junta de pega: capa de mortero dispuesta en cualquier orientación que se usa para juntar las unidades de mampostería.

Mortero de pega: mezcla plástica de materiales cementantes, agregado fino y agua, que se utiliza para juntar las unidades de mampostería.

Mortero de recubrimiento o revoque (pañete): mezcla plástica de materiales cementantes, agregado fino y agua. Se usa para dar acabado liso (enlucir) a los muros de mampostería (Agrado, 2014).

Mortero de relleno: Mezcla fluida de materiales cementantes, agregados y agua, con la consistencia apropiada para colocarse sin segregación en las celdas o cavidades de la mampostería (Agrado, 2014).

Muro no estructural: elemento que se dispone para la separación de espacios, que atiende cargas solamente debidas a su peso.

Plasticidad (mortero de pega): Facilidad con que se extiende el mortero de pega sobre una superficie, sin pérdida de su uniformidad (Agrado, 2014).

Posición Normal: forma característica de colocar la unidad de mampostería en el muro del que es parte.

Tolete: unidad de mampostería sólida que puede ser de concreto, arcilla cocida o sílice-calceárea.

Traba: Intersección continua y traslapada de dos muros (Alegre y Cansario, 2013).

Trabajabilidad (mortero de pega): medida de plasticidad de la mezcla.

Unidad de mampostería: Elemento de colocación manual, de características pétreas y estabilidad dimensional, que, al unirse con mortero, configura el muro de mampostería (Fonseca, 2018).

TÍTULO: Guía metodológica para la implementación de listado de verificación basado en la filosofía Lean Construction para la optimización de los procesos constructivos de mampostería confinada no estructural.

AUTOR(ES): Maritzabel Salazar Castillo

Jeider Julián Tafur Ramírez

Leider Iván Cifuentes Russy

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A):

PALABRAS CLAVE: Desperdicio, mampostería, proyectos, edificaciones, investigación.

Este trabajo tuvo la finalidad de desarrollar procedimientos que permitan el control de los reprocesos y desperdicios que se producen en los procesos de mampostería confinada no estructural de construcciones. En esta clase de proyectos se evidencian reiterados reprocesos y una notoria cantidad de desperdicios de insumos de materia prima para la mampostería, lo que es una afectación en tiempo de realización de proyecto y en el ámbito monetario en las utilidades que esto produce.

A fin de cumplir los propósitos establecidos, se ejecutan acciones para monitorear los procesos actuales que incluyen manejo de mampostería confinada no estructural, con base en cada uno de los procesos constructivos implicados en tal actividad. En ese sentido, la creación de esta guía metodológica requiere el análisis de rendimiento y verificación del consumo de material antes y después de implementar una lista de verificación construida con base en los parámetros detallados en la normativa NSR-10 y el diseño estructural dispuesto para la ejecución del proyecto utilizado para el estudio de caso, a fin de obtener datos acerca de los procesos

actuales que se asocian con dicha actividad. Para concluir, se estudian los resultados de este trabajo y se generan propuestas de mejoramiento a los procedimientos que se verifican en obra. Así, se cumple con los objetivos planteados en el control de reprocesos y desperdicios en este tipo de mampostería.

Introducción

La creciente demanda de edificaciones de calidad en Colombia, sumada al carácter necesario de cumplir con estándares tanto nacionales como internacionales, supone significativos retos en el campo de la construcción. De esa forma, la mampostería no estructural se presenta como un elemento fundamental por su aporte estético y su función en la definición de espacios y ambientes. Sin embargo, a pesar de su relevancia, la falta de un control riguroso puede llevar a desequilibrios estructurales y a fallas en la edificación, lo que repercute en la seguridad y funcionalidad de las construcciones (Cáceres et al., 2020).

Para abordar este desafío, la filosofía Línea Estratégica de Aseguramiento de la Calidad en la Construcción (LEAM) se ha posicionado como un marco estratégico en el ámbito constructivo colombiano, al promover prácticas que garanticen la calidad en cada una de las etapas del proceso. Según el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [Minvivienda] (2021), la implementación de listas de verificación en la mampostería no estructural es clave para salvaguardar la calidad de los materiales y técnicas utilizadas, así como para asegurar la correcta supervisión en la ejecución de las obras.

La guía metodológica del presente documento tuvo como finalidad incluir la lista de verificación como herramienta imprescindible de control y seguimiento al ejecutar actividades de mampostería no estructural con base en la filosofía LEAN. Para ello, se procuró evidenciar la importancia de su aplicación en el perfeccionamiento de los procesos constructivos. Entre los enfoques que se analizaron más adelante estuvo la selección previa de materiales, la preparación y ejecución en obra, así como los planteamientos de controles pertinentes, relacionados con la

filosofía de calidad y el modelo. Ahora bien, la norma vigente correspondiente a la NSR-10 fue el principal enfoque de este proyecto para la elaboración de la lista de verificación.

Por otro lado, como parte del desarrollo de este trabajo, se planteó el estudio de caso de una bodega para almacenamiento de materiales de construcción de Bogotá, Colombia, construida en mampostería no estructural confinada, la cual cuenta con un área construida de 850 m². Dicho esto, este estudio presentó como argumento principal ofrecer una guía a ingenieros, arquitectos y contratistas, de tal manera que puedan no solo optimizar sus procesos constructivos, sino también aportar a la construcción de edificaciones seguras y de alta calidad en Colombia. De esta manera, se podrá contribuir, en perspectiva, a una cultura de calidad en la construcción, de conformidad con los principios de sostenibilidad y responsabilidad social.

Justificación

El uso de listas de verificación para ejecutar procesos constructivos de mampostería no estructural proporciona interesantes beneficios directos e inmediatos. Por ejemplo, elimina esfuerzos duplicados o reprocesos, reduce costos, facilita la generación de presupuestos financieros más ajustados al costo real y permite dimensionar un proyecto estimando con precisión tiempos de ejecución y horas hombre necesarias.

Adicionalmente, la incorporación de las listas de verificación sobre las que versa este estudio también ofrece otras ventajas ulteriores, como la optimización de la gestión de seguridad en el trabajo y el mejoramiento de la calidad del producto final, que repercute en la calidad de vida de los futuros habitantes o usuarios.

Por consiguiente, se considera que una lista de verificación de procesos constructivos de mampostería no estructural es una herramienta metodológica que posibilita asumir la tarea de

forma sistemática. En ese sentido, los profesionales involucrados encuentran oportunidades de crecimiento personal y laboral a través de esta herramienta, y el constructor (o la organización) adquiere un recurso eficaz para garantizar el cumplimiento regulatorio, normativo y técnico, entre los que se destaca la NSR-10, Título D, Mampostería Estructural o el diseño inicial del proyecto de acuerdo con sus detalles constructivos.

Ahora bien, la implementación del listado de verificación inicia con la notificación al contratista o al profesional encargado sobre los criterios que tendrán que verificar y comprobar; para ello se utilizan recorridos físicos en la obra, en los cuales, además de verificar la conformidad, se recopilan datos que permiten medir tiempos de ejecución, consumo de materiales e indicadores de rendimiento por metro cuadrado de muro no estructural.

Asimismo, el impacto financiero es un argumento válido para justificar la implementación del listado de verificación. En consecuencia, esta propuesta considera el beneficio económico representado por la disminución de tiempos de ejecución, la racionalización de consumo de materiales y recursos y la eliminación de reprocesos.

Entre tanto, este mecanismo asegurará la calidad de los elementos no estructurales, pues, cumpliendo con los requisitos de los formatos de verificación, se considerará que los elementos construidos logran cumplir con todo lo solicitado a nivel técnico y normativo que indican los planos y la norma sismorresistente de Colombia NSR-10. En efecto, lo anterior disminuye los riesgos de pérdidas materiales y de vidas humanas si se da un movimiento telúrico.

Planteamiento del problema

La efectividad de las listas de verificación para procesos constructivos de la mampostería no estructural se ha probado y documentado en múltiples proyectos de construcción, diferentes a

los de vivienda. Al respecto, se ha observado que el impacto financiero es evidente al igual que la mejora de la calidad y en satisfacer a los usuarios.

Contrario a ello, de la documentación obtenida se infiere que los elementos no estructurales, como muros en mampostería, causan retrasos, escasa efectividad de algunos procesos, operaciones de retrabajo, sobre costos y bajo rendimiento en general. En casos críticos, que se estiman en una media de 48 %, se puede notar que el elemento no estructural no se ejecutó de conformidad con las particularidades normativas y técnicas de los planos y, de acuerdo con el profesional, no se realiza un proceso constructivo correcto. En 1 de cada 6 proyectos, es necesario efectuar la demolición del elemento, con la consecuente pérdida de tiempo y dinero.

Por lo tanto, una alternativa para la demolición es el reforzamiento de elementos a través del uso de perfiles metálicos, mallas tachadas u otras técnicas avaladas que no desvirtúen el diseño propuesto. Una u otra son opciones que incrementan en costos y tiempo, sin mencionar el impacto negativo que se traslada a actividades subsiguientes, vinculadas y dependientes de la mampostería no estructural, como pañete, pintura, instalación de ventanas y puertas, cielo raso, instalación de redes eléctricas, hidráulicas, de gas o de comunicaciones.

A pesar de que los muros no estructurales no transmiten carga a la estructura, dado que tiene como objetivo la separación de espacios, es importante resaltar que la inobservancia de criterios técnicos regulatorios tiene consecuencias graves para los habitantes. Consecuencias que se evidencian en caso de movimientos telúricos o vibraciones constantes ocasionadas por un agente externo, como una vía con alto tráfico u otra obra civil en desarrollo.

En consecuencia, los riesgos son de alto impacto y de alta probabilidad de que sucedan. Pero no solo para los habitantes, sino para los peatones que eventualmente circulan por las áreas

cercanas. Como alternativa, utilizar una lista de verificación para procesos constructivos de mampostería no estructural es una forma de ejercer un control de calidad riguroso que evita el incumplimiento normativo y regulatorio, así como optimiza la gestión de seguridad en el trabajo, mejora la seguridad pública y optimiza los estándares de la industria.

Pregunta problema

¿Cómo utilizar listas de verificación en los procesos constructivos de mampostería no estructural para reducir operaciones de retrabajo, eliminar sobrecostos, garantizar el cumplimiento normativo, mejorar el rendimiento en el proyecto, aumentar la seguridad y optimizar la calidad para el usuario?

Objetivos

Objetivo general

Ante la existencia de diversas listas de verificación, algunas de ellas que no entregan la capacidad de adaptación a diferentes tipos de proyectos, así como otras no alineadas con los aspectos prácticos reales que implica un proceso constructivo de mampostería no estructural, es importante diseñar e implementar un listado que cumpla con tres premisas esenciales: cumplimiento del marco normativo NSR-10 Título D, la mejora de los procesos y el aumento de la seguridad, la calidad y el rendimiento, mediante la comprobación de la efectividad en el caso de estudio de la bodega para el almacenamiento de materiales de construcción en Bogotá, construida en mampostería no estructural confinada, área construida total 850 m².

Objetivos específicos

- Identificar los requisitos normativos exigidos por la NRS-10, Título D, para la construcción de la mampostería no estructural, y, con base en estos, crear una lista de fallas, errores u omisiones recurrentes en la ejecución del proceso constructivo, que impiden la conformidad con la norma NSR-10 y afectan el comportamiento de los indicadores de rendimiento, productividad, seguridad, cumplimiento y calidad.
- Diseñar la lista de verificación, que incorpore los conceptos de la filosofía Lean Construction, herramienta de comprobada eficacia para la obtención de indicadores clave de rendimiento (KPI) adecuados para medir el impacto positivo, en términos cualitativos y cuantitativos, en la disminución en los parámetros de fallas o reprocesos y desperdicios, que influyen en la medición de tiempos de ejecución, uso de materiales, calidad y seguridad.
- Diseñar la guía metodológica para la implementación del listado de verificación, teniendo como fuente el caso de estudio señalado arriba: bodega para almacenamiento de materiales de construcción, ubicada en la ciudad de Bogotá, construida en mampostería no estructural confinada, área construida total 850 m².

Capítulo I. Alcance

Se diseñó e implementó una lista de verificación que considera cada una de las etapas y actividades que se ejecutan en un proceso constructivo de mampostería no estructural, y una guía práctica para su uso. El objetivo de la lista consiste en verificar la calidad, las actividades que pueden conducir a reprocesos y el uso adecuado de materiales y horas de trabajo. Por lo tanto, se espera que el uso de la lista contribuya a mejorar la productividad, disminuir costos y tiempos de trabajo, así como la optimización de condiciones de seguridad e indicadores de calidad.

Es preciso destacar que uno de los elementos más significativos en la lista será el control de calidad en los muros no estructurales. En ese sentido, varios ítems de la lista comprobarán que los elementos estructurales, a los que se anclan los muros divisorios y los enchapes en fachadas, cumplen con las normas actuales y los requisitos del diseño estructural. Al final, se verificará la garantía del empleo de la lista de verificación, de acuerdo con los indicadores que se observan en el caso de estudio de la bodega para el almacenamiento de materiales de construcción en cuestión.

1.1 Marco referencial

Desde el año 1997 hasta la fecha, la lista de verificación se ha vuelto relevante para implementar la filosofía Lean Construcción en el control y la dirección de obras, como afirma la arquitecta Andrea Romero en su trabajo sobre la formulación de la filosofía señalada y PMI para mampostería, donde indicó que estas hacen énfasis en “la mejora de la productividad de cada uno de los procesos que se encuentran en los proyectos; combinándolo con la construcción sin

pérdidas eliminando los procesos que no agregan valor, mejorando la productividad” (Montoya, 2016, p. 2).

En Colombia, la filosofía Lean Construcción llegó por dos caminos: España y Chile. Cabe recordar que este modelo requiere la coordinación de diseño, ingeniería, cadena de suministro, expectativas del cliente. Por otro lado, es importante señalar que ha sido un camino no exento de hostilidades y resistencia, sobre todo en la industria colombiana de la construcción, teniendo presente que esta repele la implementación de procesos, metodologías diferentes a las arraigadas. Bien diferente es el panorama en otros países de la región en los que las nuevas metodologías se acogen como factor determinante para el desarrollo de procesos eficiente.

En términos históricos, la filosofía LEAN o TOYOTA fue creada en 1975 por el ingeniero Taichi Ohno en 1975, con el fin de optimizar los procesos de la fábrica TOYOTA para prevenir contratiempos y pérdidas materiales, además de lograr el mejoramiento de los tiempos y la calidad de los productos. Sin embargo, años más tarde, Glenn Ballard y Greg Howell implementaron esta metodología a la industria de la construcción, lo que dio paso a la filosofía Lean Construction, la cual abarca, según el ingeniero Pons (2014):

La aplicación de los principios y herramientas Lean al proceso completo de un proyecto desde su concepción hasta su ejecución y puesta en servicio. Entendemos Lean como una filosofía de trabajo que busca la excelencia de la empresa, por lo tanto, sus principios pueden aplicarse en todas las fases de un proyecto: diseño, ingeniería, precomercialización, *marketing* y ventas, ejecución, servicio de postventa, atención al cliente, puesta en marcha y mantenimiento del edificio, administración de la empresa, logística y relación con la cadena de suministro. (p. 1)

Por otro lado, existen ocho principios que rigen el funcionamiento de Lean Construction:

Tiempos de espera: Factores o elementos que determinan el retraso en la ejecución de una tarea, una actividad, un procedimiento o un proceso.

Inventario: Almacenamiento inadecuado –excesivo o deficiente – de materiales, herramientas o insumos.

Transporte: Desde el punto del distribuidor o vendedor, o dentro de las mismas instalaciones, en este caso, obra.

Sobreproducción: Elaboración de productos, subproductos, mezclas o preparaciones, en exceso.

Fallas o reprocesos: Esfuerzos repetidos o repetición de tareas para reparar fallas.

Desperdicio: De tiempo –personas sin trabajar a la espera de que se termine otra tarea previa–, desperdicio de materiales, entre otros.

Tareas innecesarias: Estas no agregan valor al proyecto.

Personal subutilizado: Trabajadores que podrían tener responsabilidades mayores o con habilidades sobresalientes para realizar otra función.

Cabe resaltar que en el artículo *Formulación metodología Lean Construcción y PMI para mamposterías* se indica que para implementar esta filosofía existen los formatos de seguimiento y recibido de actividad, que son componentes fundamentales para identificar y medir el rendimiento de las obras, para nutrir con el fin de alimentar el LAST PLANER SYSTEM (metodología de planificación en obra que cambia la programación y el control). En esa medida, dicho documento señala que estos formatos de verificación:

Añaden un componente de control de producción al sistema de gestión de proyectos tradicionales, entendiéndose como un mecanismo para la transformación de lo que se

debe hacer formando así un inventario semanal de la asignación de la actividad de mampostería. (Montoya, 2016, p. 2)

En relación con lo anterior, la filosofía Lean Construction tiene como principio eliminar los desperdicios que se presentan en la industria de la construcción, tales como la sobreproducción (materiales de obra excesiva que sobrepasan lo necesario), esperas o tiempo de inactividad (falta de datos, materiales), transportes innecesarios, sobre procesamientos (falta de control en las actividades), exceso de inventario, defectos de calidad, talento (mano de obra poco calificada) (Hincapié, 2020).

Por otro lado, en 2003, se empezó a hacer uso de la metodología Value Stream (VSM), la cual, según Vásquez (2015), son las actividades o procesos que se requieren para generar un producto destinado a los clientes, las cuales parten de la materia prima. Se ha determinado que esta metodología posibilita la identificación de en cuáles actividades es posible hacer cambios y mejoramientos para la eficiencia del proceso de producción.

En toda Latinoamérica se aplican muchos casos que deben su éxito a esta metodología. Como ejemplo de ello se puede mencionar la clínica de la Universidad de los Andes, en la cual se llevaron a cabo observaciones en un terreno por dos meses a través de la implementación de mapas de flujo, lo que posibilitó realizar cambios para mejorarlo. Como resultado, hubo recortes de hasta un 40 % en los tiempos del ciclo de producción de los elementos constructivos (Vásquez, 2015).

En Colombia, el sector de la construcción presenta grandes problemas para identificar actividades que no agregan valor y que, contrariamente, generan reprocesos y pérdidas para las organizaciones en sus proyectos. En efecto, el sistema convencional de trabajo no ayuda a la identificación de las causas de los problemas de eficiencia y eficacia en los procesos, lo que

dificulta tomar acciones correctivas sobre estos. En esa medida, se presentan dificultades en el incremento de la productividad y en la calidad; esto se traduce en pérdidas económicas para las organizaciones y/o los proyectos.

Por otro lado, existen ejemplos de implementación de la filosofía Lean Construction en Bogotá, como el caso de estudio del proyecto la Senda – Felicidad, proyecto de torres de interés social, en el cual se implementaron formatos de control de rendimiento semanales, con los cuales los autores pudieron determinar algunas acciones de mejora en la fase de estructura. Al respecto, una de las observaciones que más resaltan es la mala disposición de los materiales de construcción, lo que influía en el deterioro de estos, así como disminuía el rendimiento del personal que ejecutaba la actividad, dado que el trasiego desde el punto de almacenamiento hasta el sitio de ejecución era muy extenso.

Por ende, con el panorama más claro, analizaron la información recopilada y de esta forma tomaron acciones correctivas como fue la disposición y el almacenamiento del material en un punto más cercano que no retrasara actividades futuras. De igual forma, surgieron formas de almacenamiento para evitar posibles deterioros de los insumos (Gualdrón y López, 2020).

Con respecto a la aplicación de la filosofía Lean Construction en Colombia, es preciso resaltar que esta filosofía es realmente nueva para el sector de la construcción, pues su presencia en la construcción solo cuenta con alrededor de dos décadas. Sin embargo, a pesar de su efectividad, no se ha implementado en su totalidad, dado que, como lo indican Caballero et al. (2018) en su artículo “*Estado actual de la aplicación de la Filosofía Lean Construction en la gestión de proyectos de construcción en Colombia*”, la influencia de esta filosofía en Colombia, en términos generales, es baja por el hecho de que la gerencia quiere evidenciar resultados

inmediatamente. Además de esto, es menester hacer una inversión de dinero y tiempo que la mayoría de las constructoras no están dispuestas a realizar.

Por tal motivo, el sector de la construcción en Colombia presenta grandes falencias en la gerencia de proyectos y en el control de calidad para estos. No obstante, la legislación colombiana, a través de la Norma Sismorresistente NSR-10, brinda las medidas y los criterios aplicables a los elementos estructurales y no estructurales, para garantizar la calidad de los procesos constructivos.

Sobre esto, la norma sismorresistente NSR-10 especifica los principios normativos referentes a los elementos no estructurales, de manera específica en el Capítulo A.9.4.1.a, en el cual se evidencia el criterio de diseño que puede aplicarse al caso objeto de estudio:

Separarlos de la estructura: En este tipo de diseño los elementos no estructurales se aíslan lateralmente de la estructura dejando una separación suficiente para que la estructura al deformarse como consecuencia del sismo no los afecte adversamente. Los elementos no estructurales se apoyan en su parte inferior sobre la estructura, o se cuelgan de ella; por lo tanto, deben poder resistir las fuerzas inerciales que les impone el sismo, y sus anclajes a la estructura deben resistir y transferir a la estructura estas fuerzas inducidas por el sismo. Además, la separación a la estructura de la edificación debe ser lo suficientemente amplia para garantizar que no entren en contacto, para los desplazamientos impuestos por el sismo de diseño. En el espacio resultante deberá evitarse colocar elementos que rigidicen la unión eliminando la flexibilidad requerida por el diseño. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS], 2010, p. 89)

De acuerdo con lo anterior, la norma en mención, en su Título D, sección D.7 –muros de mampostería reforzada, contruidos con unidades de perforación vertical– que señala el uso de

dicha mampostería, el refuerzo que se requiere y los requisitos de diseño y construcción. Más específicamente señala la separación de las dovelas, la cual, según la sección D.7.3.2.a (AIS, 2010), es de 1200 mm. Igualmente, el valor requerido para el elemento es una barra No.4. Como se observa en la Tabla 1, la cual se recuperó de la NSR-10, Título D Tabla D.4.2-2, lo que indica las tolerancias constructivas para muros en mampostería.

Tabla 1

Tolerancias constructivas para muros de mampostería.

Elemento	Tolerancia
1. Dimensiones de elementos (sección o elevación)	- 6 mm + 12.5 mm
2. Junta de mortero (10 mm)	- 4 mm + 4 mm
3. Cavidad ó celda de inyección	- 6 mm + 9 mm
4. Variación del nivel de junta horizontal Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12.5 mm
5. Variación de la superficie de apoyo (cara superior del muro) Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12 mm
6. Variación del plomo del muro Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12 mm
7. Variación del alineamiento longitudinal Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12 mm
8. Tolerancia de elementos en planta Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 20 mm
9. Tolerancia de elementos en elevación Máximo	± 6 mm/piso ± 20 mm

Nota. Tomado de *Reglamento colombiano de construcción sismo-resistente NSR-10*, por AIS, 2010, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

1.2 Aspectos metodológicos

Este estudio de caso es una investigación de campo, dado que se fundamenta en un cuerpo conceptual, que es la recopilación de datos sobre el proceso constructivo, la norma vigente y diseños que puedan aplicarse a la construcción de muros en mampostería no estructurales. Ahora bien, de acuerdo con los datos hallados se diseñó el listado de verificación

que permitió indicar todos los criterios determinados que puedan aplicarse a las acciones asociadas con la elaboración del elemento. Luego, se implementó tal listado en la obra estudiada, de modo que se realizaron revisiones a todos los criterios del listado. Cabe señalar que este llevó de forma lineal, lo que concordó con el proceso de construcción, para liberar las actividades sin perder la linealidad ni omitir pormenores de tal actividad. A continuación, se tomaron los rendimientos por m² antes y después de implementar el listado, a fin de examinar la influencia del *check-list* en la ejecución.

De igual mod, tales listados de verificación formaron parte del control de calidad de la filosofía Lean Construction, pues contemplaron los criterios y procedimientos para llevar a cabo la actividad, con el objeto de evitar reprocesos debido a la mala ejecución, dado que el listado tiene un orden consecutivo en el que una actividad precede la siguiente. Así, en caso de presentarse errores, no será posible continuar con la ejecución sin arreglarlos. En tanto, los rendimientos que se obtengan alimentarán el Last Planner System (LPS), en el cual se analizarán las restricciones o las causales de no cumplimiento de los tiempos determinados. A partir de la información recopilada, se tomarán decisiones de corrección. Con relación a la manera en que se hará evaluación del porcentaje de reprocesos, se determinará con base en el rendimiento, como puede verse en la ecuación 1:

$$\%Reprocesos = \frac{\text{Rendimiento posterior a la implementación} - \text{Rendimiento anterior a la implementación}}{\text{Rendimiento anterior a la implementación}} * 100\%$$

Ecuación 1. *Porcentaje de Reprocesos.*

Nota. Elaboración Propia

Como fundamento para comparar los reprocesos, se tomó el desempeño señalado en la exploración analítica de los valores unitarios en torno al desempeño previo a haber

implementado el listado. De esa manera, se determinó el porcentaje “%” de reprocesos iniciales. Por último, se analizaron la información hallada y se concluyó la capacidad de rendimiento del listado de verificación en la disminución de procedimiento reiterativos, también en el control de calidad al ejecutar la mampostería no estructural.

1.3 Cronograma

Tabla 2

Cronograma.

ACTIVIDADES	2024				
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
2.Trabajo en campo.					
Implementación listas de verificación					
Entrega de cartas de autorización					
3.Procesamiento, tabulación e interpretación de información.					
Evaluación de rendimientos de obra.					
Análisis de datos					
Asesoramiento del desarrollo.					
Descripción de resultados					
Conclusiones.					
4.Divulgación de la investigación.					
Elaboración de trabajo final.					
Desarrollo de conferencia de difusión.					

Nota. Elaboración Propia.

1.4 Presupuesto

Tabla 3

Presupuesto.

ASPECTO	ESPECIE.	RECURSOS PROPIOS.	TOTAL.
Gastos del personal (Asesor, autores, coasesor)	\$ 300.000,00	\$ 150.000,00	\$ 450.000,00
Mantenimiento de equipos.		\$ 500.000,00	\$ 500.000,00
Material Bibliográfico.		\$ 800.000,00	\$ 800.000,00
Impresiones y publicaciones.	\$ 80.000,00	\$ 200.000,00	\$ 280.000,00
Servicios Técnicos.		\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
Salidas a Campo.		\$ 500.000,00	\$ 500.000,00
Dotación EPP propios		\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
TOTAL	\$ 380.000.00	\$ 2.450.000.00	\$ 2.830.000.00

Nota. Elaboración Propia

Capítulo 2. Desarrollo de los objetivos

En el presente capítulo, se efectuó el desarrollo de los objetivos específicos para guiar la respuesta al objetivo general, esto es evaluar la influencia de los listados de verificación al optimizar los procesos constructivos de la mampostería no estructural, así:

Objetivo 1. Identificar los requisitos normativos exigidos por la NRS-10, Título D 10 para la construcción de la mampostería no estructural.

Los requisitos normativos para procesos constructivos de mampostería no estructural aparecen el Título D 10 de la NRS-10. Dicho esto, la norma exige requisitos generales y otros que denomina como complementarios, para cada uno de los elementos que se enmarcan en la mampostería no estructural.

Por otro lado, los requisitos complementarios son los contenidos en otros capítulos de la norma, sobre los que se aclara que aplican para los elementos de mampostería no estructural. En algunos casos, se plantean excepciones dentro del mismo capítulo. De acuerdo con lo anterior, para desarrollar el primer objetivo específico de este estudio, fue preciso elaborar un inventario completo de los requisitos, generales y complementarios, en el orden en que lo dispone la nomenclatura de la norma, del siguiente modo:

Tabla 4

Inventario completo de los requisitos, generales y complementarios, en el orden en que lo dispone la nomenclatura de la norma.

D.10.3.1	Muros de mampostería confinada	<ul style="list-style-type: none"> • Continuidad – El muro debe ser continuo desde la cimentación hasta su nivel superior. • Aberturas – No puede tener ningún tipo de aberturas. 								
D.10.3.2	Unidades de mampostería permitida.	<ul style="list-style-type: none"> • Los materiales permitidos son concretos, arcilla cocida, o sílico-calcárea. • Cumplir los requisitos en D.3.6. 								
D.10.3.2.1	Valores mínimos para la resistencia de las unidades	<p style="text-align: center;">Tabla D.10.3-1 Resistencia mínima de las unidades para muros de mampostería confinada</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Tipo de unidad</th> <th>f'_{cu} (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tolete de arcilla</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Bloque de perforación horizontal de arcilla</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Bloque de perforación vertical de concreto o de arcilla (sobre área neta)</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de unidad	f'_{cu} (MPa)	Tolete de arcilla	15	Bloque de perforación horizontal de arcilla	3	Bloque de perforación vertical de concreto o de arcilla (sobre área neta)	5
Tipo de unidad	f'_{cu} (MPa)									
Tolete de arcilla	15									
Bloque de perforación horizontal de arcilla	3									
Bloque de perforación vertical de concreto o de arcilla (sobre área neta)	5									
D.10.3.2.2	Restricción al uso del bloque de perforación horizontal de arcilla	<p>Solo se utiliza en construcciones de uno y dos pisos, o en los dos pisos superiores en edificios de más de dos pisos.</p> <p>La conformidad se limita a muros en los que se cumpla:</p>								
D.10.3.3	Espesor mínimo del muro	<ul style="list-style-type: none"> • Relación entre altura libre y su espesor menor o igual a 25. • Espesor nomina mayor o igual a 110 mm. $P_u/A_e \leq 0.15f'_m .$								
D.10.3.4	Área mínima de muros confinados por nivel	<ul style="list-style-type: none"> • Área mínima limitada por $A_m \geq \frac{N A_a A_p}{20}$								
D.10.4.1.	Resistencia del concreto	<ul style="list-style-type: none"> • Columnas y vigas de confinamiento solo admiten el uso de concreto cuya Resistencia 								

		mínima a la compresión sea de 17.5 MPa medida a los 28 días.
D.10.4.2	Compatibilidad con el Título C.	Se establecen las dimensiones mínimas para el desarrollo y el empalme de los elementos de confinamiento, excepto las dimensiones mínimas establecidas en este capítulo.
D.10.4.3	Refuerzo en el interior en el muro.	<ul style="list-style-type: none"> • Colocados dentro de las columnas y vigas de confinamiento. • No está permitido incluir refuerzos de confinamiento en las unidades de perforación vertical, salvo en las vigas que rematan los muros. • Las vigas de remate de los muros se pueden hacer en unidades de tipo U, inyectadas con mortero de resistencia a la compresión no menor de 14 MPa.
D.10.5.2.	Dimensiones mínimas para elementos de confinamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • El espesor mínimo debe ser el mismo del muro confinado. • El área mínima de la sección transversal es de 20.000 mm² (200 CM2)
D.10.5.3	Ubicación de las columnas de confinamiento	<ul style="list-style-type: none"> • En los extremos de todos los muros estructurales. • En los puntos de intersección con otros muros estructurales. • En ubicaciones intermedias a distancias que no sean superiores de 35 veces el grosor del muro, 1.5 veces la separación vertical entre elementos horizontales de confinamiento o 4 metros.
D.10.5.4	Características del refuerzo mínimo	<ul style="list-style-type: none"> • No menor de 3 barras No. 3 (3/8") o 10 ms. • Área de refuerzo longitudinal mayor o igual a 0.0075 veces el área de la sección bruta del elemento. • Refuerzo longitudinal no puede ser menor al requerido para atender los esfuerzos de diseño, según D.10.7.

D.10.5.4	Características del refuerzo transversal	<ul style="list-style-type: none"> • Refuerzo transversal con estribos cerrados de al menos 2 (2/4”) o 6 mm de diámetro, espaciados a un máximo de 1.5 veces la menor dimensión del elemento o 200 mm. • El refuerzo transversal debe ser por lo menos el estándar para soportar los esfuerzos de diseños en función del D.10.7.
D.10.5.5.	Anclaje del refuerzo	<p>Es necesario que se ancle al sistema de cimentación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las barras deben extenderse desde la cara superior del cimiento, cubriendo la longitud necesaria del traslape. • Los empalmes del refuerzo vertical en las columnas de confinamiento deben cumplir con las especificaciones establecidas en el apartado C.12. • Es posible emplear barras de empalme ancladas a la cimentación por medio de ganchos que tengan un ángulo de 90°.
D.10.5.6	Refuerzo transversal de confinamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar estribos cerrados de confinamiento mínimo No 2 (1/4”) o 6 mm, espaciados a 100 mm, cuyas ramas no pueden estar separadas a distancias mayores de 150 mm, en construcciones ubicadas en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia. • La distancia en cada extremo del elemento, medida a partir del elemento transversal será la mayor entre 450 mm o la sexta parte de la luz en cuestión.
D.10.6.1	Vigas de confinamiento	Las vigas de cimentación se consideran vigas de amarre y deben cumplir los requisitos mínimos de estas.
D.10.6.2	Dimensiones mínimas de las vigas de confinamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor mínimo: es el mismo del muro confinado.

		<ul style="list-style-type: none"> • Área mínima: 20.000 mm² (200 cm²) • En vigas que requieran enchape, el ancho puede reducirse hasta en 75 mm, siempre que se aumente la altura hasta un punto el que el área transversal no sea inferior al mínimo.
D.10.6.3	Ubicación de las vigas de confinamiento	<ul style="list-style-type: none"> • En la base y remate del muro. • En los niveles intermedios de entre pisos. • Con intervalos verticales libres que no sobrepasen 25 veces el grosos del muro. • Formando anillos cerrados en un plano horizontal. • Entrelazando los muros estructurales en las dos direcciones principales, de tal forma que se conformen diafragmas con ayuda del entre piso o la cubierta. • Es preciso colocar vigas en la cimentación, el entrepiso y el enrase de cubierta.
D.10.6.4 (a)	Refuerzo mínimo longitudinal	<ul style="list-style-type: none"> • No debe ser inferior a 3 barras No.3 (3/8”) o 10 mm. • El área de refuerzo longitudinal no puede ser menor a 0.0075 veces el área de la sección bruta del elemento. • Para anchos inferiores a 110 mm o cuando el entrepiso sea una loza maciza, el refuerzo mínimo debe ser dos barras No. 4. (1/2”) o 12 mm. • El refuerzo longitudinal no puede ser menor al requerido para atender los esfuerzos de diseño según lo exigido por D.10.7.
D.10.6.4 (b)	Refuerzo transversal	<ul style="list-style-type: none"> • Estribos cerrados No 2 (1/4”) o 6 mm, espaciados a distancias no mayores de 200 mm, no mayores a 1.5 veces la menor distancia del elemento.

		<ul style="list-style-type: none"> • El refuerzo no puede ser menos que el requerido para atender los esfuerzos de diseño según lo dispuesto en D.10.7.
D.10.6.4.1	Vigas que continúan fuera del muro confinado	Las vigas que cumplen funciones de dintel, de apoyo para losa o de elementos colectores dentro del diafragma, se diseñarán según el TÍTULO C.
D.10.6.5.	Anclaje del refuerzo vigas	El refuerzo de las vigas de confinamiento debe fijarse en los extremos finales mediante ganchos de 90°, integrados en un elemento transversal de tal modo que confine en su dirección.
D.10.6.6D	Viga de amarre sobre la cimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar una viga de amarre que cumpla con los requisitos para vigas expresados en esta sección. • La cimentación construida con elementos de concreto reforzado es equivalente a la viga de amarre. Para estas solo se exige el cumplimiento de las cuantías mínimas, sin que el refuerzo sea menor al requerido para atender los esfuerzos de diseño definidos en D.10.7.
D.10.6.7.	Cintas de amarre	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe garantizar el trabajo monolítico con el elemento que remata. • El refuerzo longitudinal de la cinta se debe anclar en los extremos terminales. • Se puede utilizar como cinta de amarre un elemento de concreto reforzado mínimo con dos barras longitudinales No. 3 (3/8”) o 10 mm. • También se puede utilizar un elemento construido con piezas de mampostería Tipo U, reforzado longitudinalmente mínimo con dos barras No. 3 (3/8”) o 10 mm o una barra No. 4 (1/2”), e inyectando con mortero de

		inyección de resistencia a la compresión no inferior a 14 MPa.
--	--	--

Nota. Elaboración Propia

Posterior a la identificación de los requerimientos normativo, se desarrolló la consolidación de las fallas errores u omisiones recurrentes en la ejecución del proceso constructivo, que impiden la conformidad con la norma NSR-10 y afectan el comportamiento de los indicadores de rendimiento, productividad, seguridad, cumplimiento y calidad. Esta identificación se realizó mediante validación teórica e inspecciones en diversas situaciones en las que se observa que estas fallas son reiterativas en el proceso de mano de obra en la mampostería confinada no estructural. En tal sentido, no cumple con el listado detallado de parámetros especificados en la NSR-10 Título D, con el fin de evaluar mediante los ocho principios que rigen el funcionamiento de Lean Construction, especialmente en lo relacionado con la atención en fallas, reprocesos y desperdicios.

A continuación, se presentan los siguientes parámetros que se han identificado como errores que generan fallas y/o reprocesos:

2.1 Traslapo de refuerzo vertical

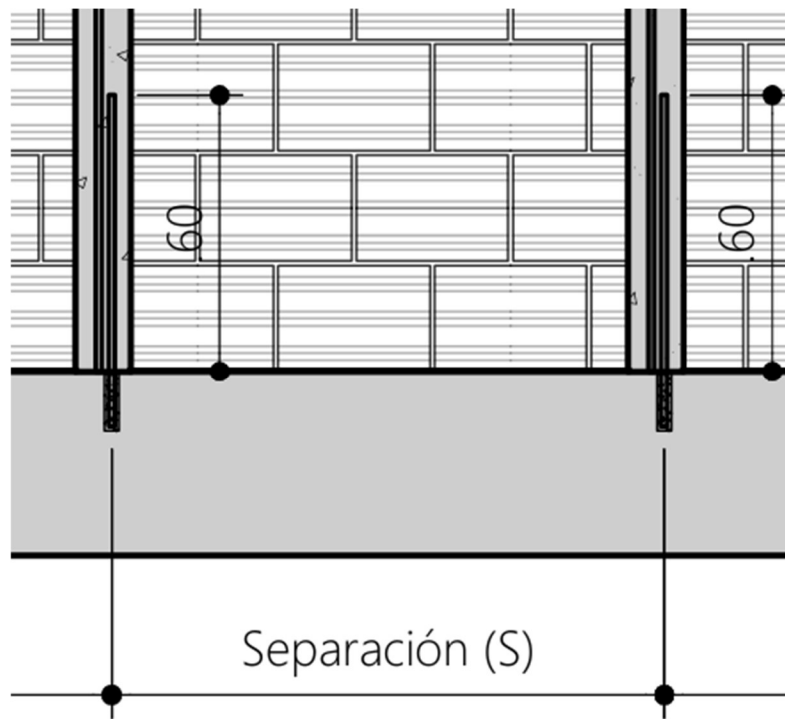
En la construcción de muros de mampostería no estructural y, en general, la construcción.

El traslapo o empalme es la unión entre barras de acero de refuerzo, este mecanismo de amarre permite que las barras se prolonguen. El objetivo principal del traslapo es garantizar una transferencia correcta de esfuerzos, de manera que se evite una falla por empalme de todo tipo. (Martínez, 2019, párr. 1)

Según la NSR-10, Título D.10.5.4, “el refuerzo transversal no puede ser menor que el requerido para atender los esfuerzos de diseño, según lo determinado en D.10.7”. Por el contrario, este debe tener una longitud mayor o igual a la indicada en planos, que, para el caso de estudio de bodega para almacenamiento en cuestión, se define la longitud 0.60m (ver Figura 5. Referencia tomada de plano número 7).

Figura 1

Plano General Mampostería diseño de elementos no estructurales



Nota. Tomada del Anexo 8.

Al implementar la lista de verificación en los recorridos de supervisión en el desarrollo de las actividades de la mampostería no estructural se evidencio que en muro entre los ejes C-C' y eje 3A -3A', no se consideró la longitud estipulada en planos de 0.60 m, como se observa en la Ilustración 2, traslapo ejecutado de forma inadecuada, Muro entre los ejes C-C' y eje 3A

-3A'. Elaboración Propia. En este caso, la longitud de traslapo para el refuerzo vertical era de 0.16 m, lo cual representa una desviación del 26 % en relación con los diseñado.

Figura 2

Traslapo ejecutado de forma inadecuada, Muro entre los ejes C-C' y eje 3A -3^a.



Nota. Elaboración propia.

2.2 Anclajes

La mampostería no estructural confinada tiene como característica distintiva estar delimitada por elementos como columnas, columnetas, vigas y viguetas, que pertenecen al conjunto estructural de la edificación. Asimismo, la interacción entre el muro de mampostería no

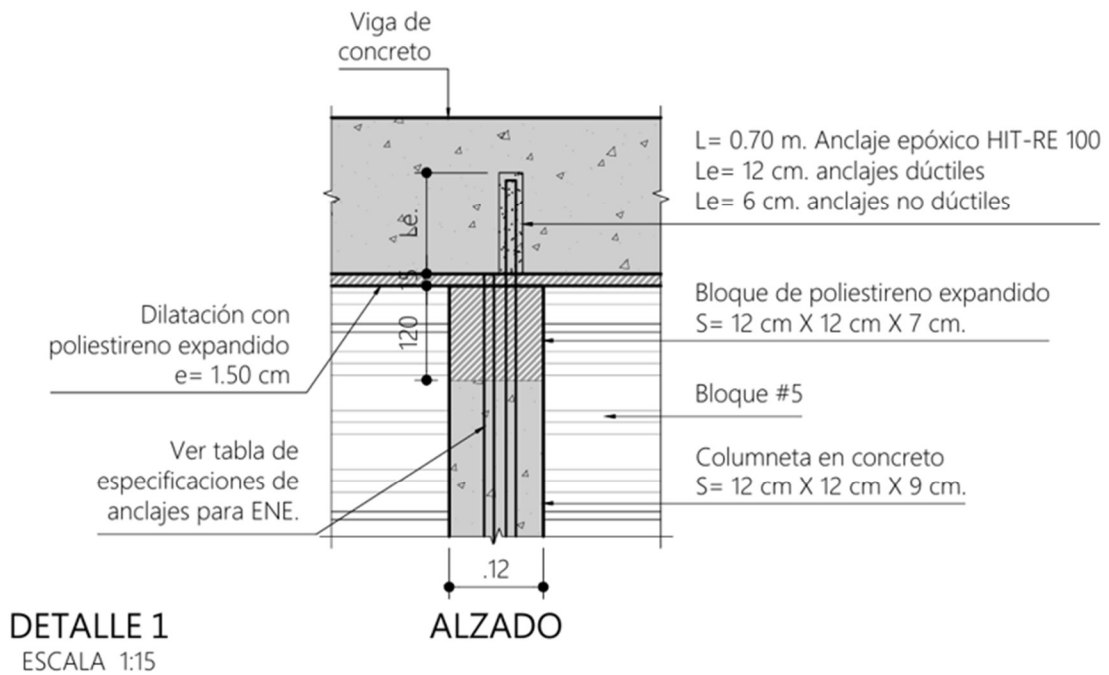
estructural y dichos elementos estructurales deben ceñirse a lo dispuesto en la NSR-10, Título D, tal refuerzo debe asegurarse en los extremos finales utilizando con ganchos de 90°, integrados en una unidad transversal que sirva como confinamiento.

Para el caso de estudio bodega para almacenamiento de materiales de construcción, asentada en la capital de Colombia, construida en mampostería no estructural confinada, área construida total 850 m², la especificación del anclaje al elemento transversal se describió mediante el detalle 1 de anclaje del plano número 7, como se muestra en la Ilustración 3 (referencia tomada del Anexo 8. Plano General Mampostería diseño de elementos no estructurales).

En esa medida, se define de forma general el uso del anclaje epóxico HIT-RE-100 con una longitud de penetración (L) de 0.70 m, lo cual cumple con lo mencionado en la Ilustración 4 (referencia tomada del Anexo 8. Plano General Mampostería diseño de elementos no estructurales). (Ver Tabla de especificaciones de anclajes para elementos no estructurales muros de mampostería (Bloque #5)).

Figura 3

Plano General Mampostería diseño de elementos no estructurales.



Nota. Referencia Tomada del Anexo 8.

Figura 4

Plano General Mampostería diseño de elementos no estructurales.

TABLA DE ESPECIFICACIONES DE ANCLAJES PARA ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES MUROS DE MAMPOSTERÍA (BLOQUE #5)				
Tipo de elemento	S	# Barras	Ø Barra	Tipo
Muro de fachada de altura total	1.20 m	1	1/2"	Dúctiles
Muro de fachada de altura parcial	1.20 m	1	5/8"	Dúctiles
Muro divisorio de altura total	1.20 m	1	5/8"	No dúctiles
Muro divisorio de altura parcial	1.20 m	1	1/2"	No dúctiles

Nota. Referencia Tomada del Anexo 8.

En consecuencia, la evidencia fotográfica de los recorridos de validación del cumplimiento de las particularidades técnicas establecidas en el proyecto, actividad ejecutada a

través de la implementación del listado de verificación, reveló que los anclajes del muro eje G, entre 1 y 2, no se ejecutaron con base en el requerimiento técnico mencionado y consignados en los planos de diseño. En tal sentido, este anclaje no generaba conexión a 90° dentro del elemento de confinamiento transversal a su dirección, como se evidencia en la Ilustración 5: “Anclaje incorrecto, muro eje G entre 1 y 2”, y de acuerdo con el Capítulo D.10.6.5 NSR -10, Título D. Por tal motivo, fue necesario realizar el retiro del anclaje y del material de epóxido aplicado para la implantación de este, así como generar la limpieza de la perforación, con el fin de ejecutar la actividad del anclaje de forma correcta y cumpliendo a cabalidad con lo dispuesto por la norma y lo requerido en el diseñado.

Figura 5

Anclaje incorrecto, muro eje G entre 1 y 2.



Nota. Elaboración propia.

Después de referenciar los parámetros que generaron o pudieron haber generado errores, los cuales aludían en fallas y/o reprocesos, se mencionan a continuación los parámetros que

implicaron desperdicios de material al generarse actividades de demolición, con el objeto de repetir la ejecución de los elementos identificados y los requerimientos técnicos y normativos:

2.3 Plomo de muros

La verticalidad de la construcción de muros de mampostería no estructural, además de garantizar una visual adecuada de la arquitectura, tiene la función de transmitir cargas. Por este motivo, se deben cumplir los requerimientos que indica la Tabla D.4.2.2 de la NSR-10 Título D, el cual señala que “la variación del plomo del muro es máximo 2mm por cada metro sin superar los 12 mm en toda su longitud” (AIS, 2010, p. 5).

Figura 6

Desplome de muro no estructural - Eje 3^a entre A y B



Nota. Elaboración propia.

Cuando se realizó la validación en campo del desplome mediante la implementación del listado de verificación para el muro que se relaciona en la Ilustración 6, se evidenció que este

muro presentó un desplome con una diferencia en verticalidad de 6 mm en un metro lineal. Como resultado, este valor indica el no cumplimiento de lo dispuesto por la norma técnica e implica acciones adicionales a las consideradas para el capítulo de obra en el cronograma de ejecución. En ese sentido, fue necesario realizar la demolición de dicho elemento.

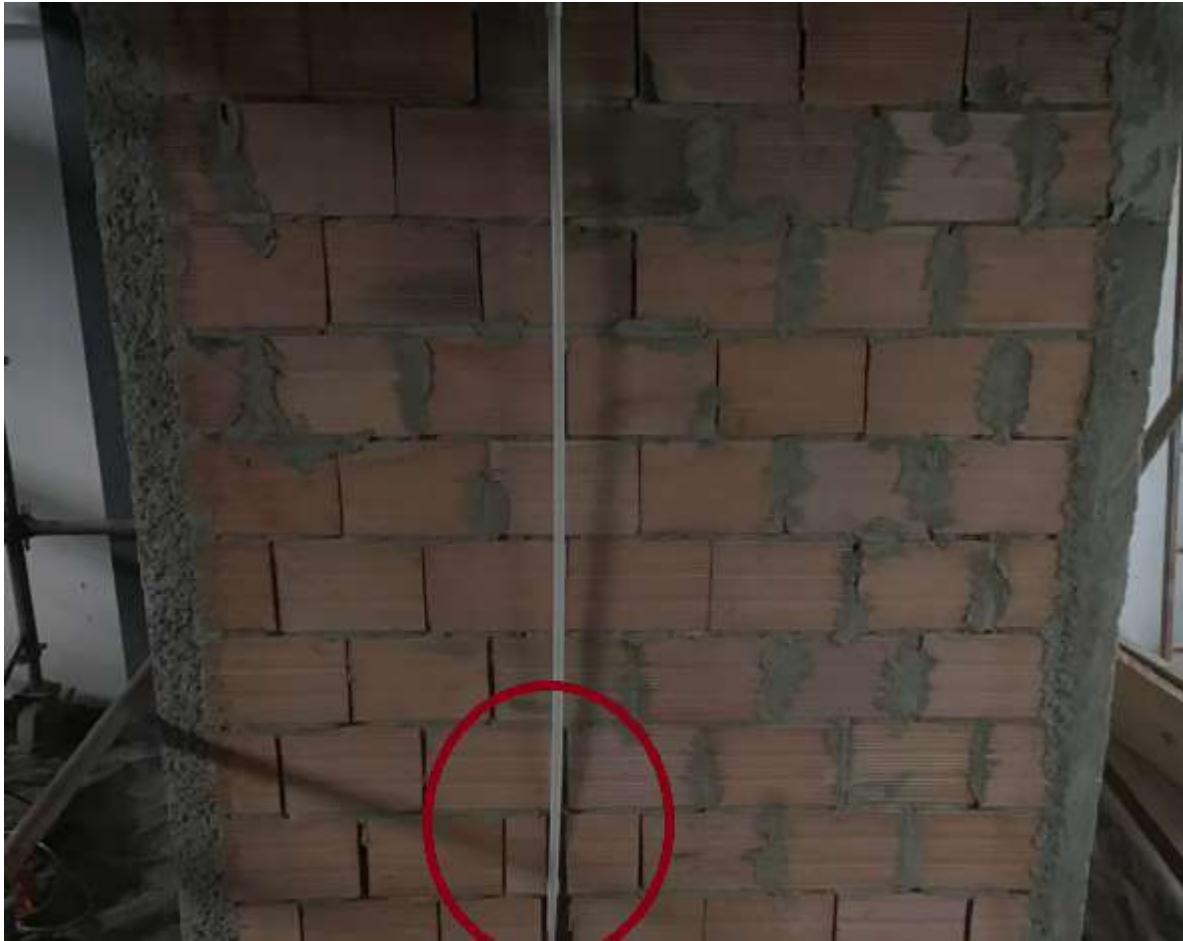
2.4 Redes hidráulicas

Según la NSR-10, Título D .4.5.6., es posible incorporar tuberías en los muros de mampostería, toda vez que estas se trasladen en celdas no rellenas con mortero; asimismo, el diámetro de estas debe ser menor que la medida más pequeña de la celda. Aun con esta recomendación de la norma, al momento de realizar la ejecución de la construcción de muros no estructurales confinados, puede suceder que se realice una inadecuada coordinación con las demás especialidades presentes en el proyecto, tales como las redes hidráulicas, eléctricas, gas, voz y datos.

Como consecuencia, esta falta de alineación trae consigo que se omita la implementación de las redes al momento de desarrollarse la actividad, lo que da lugar a actividades adicionales con repercusión en el uso no previsto del material. Como se muestra en la Ilustración 7, se omitió la red hidráulica para un punto de cafetería ubicado en el segundo nivel; por este motivo, se estimó necesario realizar el corte y refuerzo del muro, lo que conllevó un mayor tiempo de ejecución retrasando las actividades sucesoras como pañete y pintura, entre otros.

Figura 7

Instalación Hidráulica, Muro 3A entre C y D.



Nota. Elaboración propia.

2.5 Mortero de pega

En construcción en general de mampostería, el mortero de pega tiene como finalidad la unión de los elementos. De acuerdo con la NSR-10, Título D, los morteros que se emplean para pegar tienen que presentar una consistencia y plasticidad adecuada; igualmente, deben contar con la capacidad de contener la cantidad mínima de agua para hidratar el cemento. Aunado a esto, tienen que brindar la seguridad de presentar una adherencia buena con los elementos de mampostería con el fin de cumplir con su función cementante. Ahora bien, con el fin de

garantizar las características mencionadas en la normativa anterior, en la Tabla D.4.2-2 se relacionan las tolerancias constructivas para muros de mampostería (ver Ilustración 12). Entre estas tolerancias, se indica que el espesor de la junta de mortero es de 10 mm.

Tabla 5

Tolerancias constructivas para muros de mampostería.

Elemento	Tolerancia
1. Dimensiones de elementos (sección o elevación)	- 6 mm + 12.5 mm
2. Junta de mortero (10 mm)	- 4 mm + 4 mm
3. Cavidad ó celda de inyección	- 6 mm + 9 mm
4. Variación del nivel de junta horizontal Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12.5 mm
5. Variación de la superficie de apoyo (cara superior del muro) Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12 mm
6. Variación del plomo del muro Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12 mm
7. Variación del alineamiento longitudinal Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12 mm
8. Tolerancia de elementos en planta Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 20 mm
9. Tolerancia de elementos en elevación Máximo	± 6 mm/piso ± 20 mm

Nota. Tomado de *Reglamento colombiano de construcción sismo-resistente NSR-10*, por AIS, 2010, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Dentro de los recorridos realizados se observó que, en el muro del eje 1, entre F y G, el espesor no se estaba cumpliendo, tal como se detalla en la Ilustración 8. En este muro, el mortero de junta aplicado no superó los 4 mm, por lo que estuvo por fuera del rango de tolerancia permitido (± 4 mm sobre los 10 mm requeridos). Por lo tanto, esta no conformidad con la normativa vigente obliga la demolición del muro, lo que genera un alto desperdicio de mortero de pega y la adición de la actividad de demolición dentro de plan de trabajo definido para la ejecución del proyecto.

Figura 8

Mortero de pega. muro del eje 1 entre F y G.



Nota. Elaboración propia.

Las fallas recurrentes que se desglosan a continuación se han identificado en proyectos diferentes al caso de estudio. En efecto, estas falencias se han documentado y registrado en

informes elaborados por profesionales en Ingeniería y Arquitectura, quienes evalúan, con base en la norma NSR-10, los requisitos de la norma, así como las especificaciones técnicas del diseño inicial de elementos no estructurales. Como se expuesto, estos son los criterios utilizados para identificar no conformidades, y entre los más relevantes se encuentran los siguientes:

- Replanteo erróneo de columnetas.
- Distancia entre columnetas mayor a las especificadas en planos.
- Profundidad y diámetro de perforación para anclaje menor a la indicada en planos y de acuerdo con recomendaciones de diseñador.
- Aplicación incorrecta de material de adherencia (epóxico).
- Cuantía de acero para columneta y viga menor a la solicitada por el diseñador estructural.
- Ausencia de conectores o grafiles longitudinales.
- Ausencia de pases hidráulicos, sanitarios, eléctricos y de voz y datos.
- Vanos de puerta y ventanas con desplome y menor dimensión de acuerdo con las indicaciones arquitectónicas.
- Ausencia de dilatación entre elemento estructural y no estructural.

Teniendo en cuenta lo expuesto, es evidente la necesidad de contar con herramientas que permitan eliminar actividades de reproceso, disminuir la tasa de desperdicios y optimizar el uso de recursos. Para ello, se planteó el objetivo 2.

Objetivo 2

Alinear la guía metodológica para el uso de listas de verificación con los principios rectores de Lean Construction se consideró el factor determinante que agrega valor al proyecto, permite disminuir costos, eliminar operaciones de retrabajo y generar mayor eficiencia y productividad durante todo el ciclo de vida de la obra.

La *Revista Ingenierías* de la Universidad de Medellín entrega un interesante artículo, firmado por los reconocidos profesores Rojas López, Henao Grajales y Valencia Corrales, en el que reconocen el aporte de Lean Construction como una postura filosófica que trasciende las formas convencionales de esta labor, al señalar que, mediante sistemas innovadores de gestión basados en la exploración analítica de desperdicios y el diseño de acciones, tienen el fin de optimizar la operatividad en la construcción al suprimir acciones que no contribuyen al producto final de la construcción.

Asimismo, la industria de la construcción, afirman los mencionados profesores, requiere metodologías de gestión de proyectos diseñadas para controlar la ejecución de procesos simultáneos en una obra. En ese sentido, se estimó que Lean Construction ofrece el marco apropiado para implementar esas metodologías. Entre los objetivos está mejorar la productividad, minimizar el desperdicio de materiales y de tiempo, eliminar actividades de retrabajo, en incluso, tomar acciones efectivas para garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores.

2.6 Desarrollo del listado de verificación

Los beneficios del uso de listas de verificación, de conformidad con los principios de Lean Construction, sumados a la necesidad evidenciada de contar con herramientas de control y supervisión, en actividades de mampostería no estructural, son múltiples para el caso de estudio.

En ese sentido, se diseñó una lista de verificación que aporte datos útiles con el fin de que, además de evitar fallas o no conformidades técnicas, se obtengan registros confiables sobre el rendimiento en tiempo, indicadores sobre el consumo de materiales y KPI que permiten establecer la mejora continua y la efectividad de las herramientas de control implementadas.

Como se mencionó arriba, el sustento regulatorio y normativo de esta lista es la norma NSR-10, Título D, la cual aborda desde el diseño estructural hasta las actividades posteriores que, sin involucrar procesos definidos de mampostería estructural, encuentran puntos de coyuntura definidos, como hidráulica y eléctrica, por citar dos de las más recurrentes.

Adicionalmente, es necesario considerar los aspectos estéticos, de calidad y los referentes a la seguridad de los usuarios futuros, debido a que estos elementos forman parte indivisible del elemento no estructural. Seguidamente, para facilitar el uso de la herramienta en mención, se seccionaron cinco etapas de acuerdo con un orden constructivo. Como resultado de esta combinación de elementos, se obtuvo una guía metodológica eficiente y fácil de entender y usar. A continuación, se presentan las cinco etapas que estructuran la lista de verificación:

1. Preliminares

La primera fase busca identificar los parámetros iniciales adoptados en la construcción de muros en mampostería no estructural. El objetivo consiste en delimitar la ubicación precisa de acuerdo con la planimetría general del proyecto. Aunado a esto, se definió la posición de los elementos de confinamiento y refuerzo, siempre verificando las dimensiones y distancias determinadas según la norma NSR-10, Título D, y los diseños de elementos no estructurales del proyecto. Finalmente, se tuvieron en cuenta la disposición de las redes eléctricas, hidráulicas de gas o de telecomunicaciones.

En esta primera etapa se desarrollan tres subactividades:

- **Localización y replanteo:** Se verifica la conformidad de la distancia entre los ejes existentes, con la planimetría de diseño. Para ello se realiza el diseño del muro que se construye, de acuerdo con las dimensiones indicadas en el diseño arquitectónico.
- **Forme de primera hilada:** Se comprueba la disposición de los bloques o del mampuesto, en el cual se verifica la trabe y los cortes necesarios para el cumplimiento de la dimensión del elemento. El objetivo es evitar desperdicios de material con cortes innecesarios al mampuesto, así como garantizar los espesores de pega.
- **Ubicación de columnetas:** Verificar la ubicación de los elementos de confinamiento. Esta disposición es estandarizada por la norma NSR-10, Título D (D.10.5.3). Para ello, se tomaron como parámetros válidos las indicaciones expuestas en el diseño de elementos no estructurales.

2. Anclaje

Esta segunda etapa se enfocó en la comprobación de los requisitos solicitados por la norma o incluidos en los diseños iniciales, para las actividades de perforación y adhesión de los anclajes de refuerzo. En esa medida, se tienen en cuenta los siguientes requisitos:

- **Profundidad de perforación:** Verificar la longitud indicada en el diseño de elementos no estructurales para el anclaje de la barra de refuerzo, con el fin de garantizar una conexión adecuada al elemento estructural.
- **Diámetro de perforación:** Esta dimensión está supeditada al diámetro de la varilla de refuerzo, la cual está indicada en el diseño de elementos no estructurales, así como en el título D de la NSR-10 (D.10.5.5).

- **Limpieza de perforación:** Es la inspección realizada a la perforación, en la cual se verifica la limpieza adecuada de esta, dado que es necesario realizar un aseo apropiado para asegurar la resistencia de la unión entre el adhesivo epóxico, el elemento estructural y el acero de refuerzo.
- **Aplicación de epóxico:** Refiere a la verificación realizada a la aplicación del adhesivo epóxico, en donde se asegura la cobertura completa de la cavidad.

3. Muro en mampostería

La tercera fase abordó los requisitos para la aplicación del mortero sobre el mampuesto, las distancias mínimas y máximas, el espesor, entre otras especificaciones normativas de NSR-10 o propuestas en los diseños iniciales:

- **Aplicación de mortero de pega (uniformidad):** Es la actividad en la cual se realiza la aplicación del mortero sobre el mampuesto y sobre las hiladas de mampostería, en dicha actividad se verifica la correcta aplicación, en la cual se garantiza la uniformidad y cobertura del mortero para asegurar una correcta adherencia entre mampuestos.
- **Instalación de grafiles y conectores:** Se verifica la distancia horizontal entre conectores de alambre de acuerdo con las especificaciones técnicas indicadas en la NSR-10, Título D (D.6.1.4) y el diseño de elementos no estructurales.
- **Espesor de mortero de junta (10 mm):** El grosor de las juntas no debe exceder los 10 mm, respetando las tolerancias especificadas en la Tabla D.4.2-2.

- **Emboquillado de juntas horizontales y verticales:** Refiere a la uniformidad estética de la aplicación del mortero de pega, mediante el cual se garantiza la continuidad en toda su longitud, lo que evita excesos de mortero en la junta.
- **Alineamiento, nivelación y plomo:** Este parámetro permite verificar nivelaciones horizontales y plomo general del muro dentro de las tolerancias establecidas en la NSR10, especificadas en la siguiente tabla:

Tabla 6

Tolerancias constructivas para muros de mampostería.

Elemento	Tolerancia
1. Dimensiones de elementos (sección o elevación)	- 6 mm + 12.5 mm
2. Junta de mortero (10 mm)	- 4 mm + 4 mm
3. Cavidad ó celda de inyección	- 6 mm + 9 mm
4. Variación del nivel de junta horizontal Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12.5 mm
5. Variación de la superficie de apoyo (cara superior del muro) Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12 mm
6. Variación del plomo del muro Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12 mm
7. Variación del alineamiento longitudinal Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12 mm
8. Tolerancia de elementos en planta Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 20 mm
9. Tolerancia de elementos en elevación Máximo	± 6 mm/piso ± 20 mm

Nota. Tomado de *Reglamento colombiano de construcción sismo-resistente NSR-10*, por AIS, 2010, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

- **Instalaciones eléctricas (tomacorrientes, interruptores, entre otros):** Con el fin de evitar reprocesos constructivos, es prudente verificar en el diseño eléctrico la ubicación de tuberías eléctricas, cajas de interruptores y tomacorrientes, para realizar

los respectivos cortes al muro en mampostería; esto previo a realizar actividades sucesoras como lo son el pañete y estuco.

- **Instalación de pases hidráulicos y sanitarios:** Es necesario validar en los diseños hidráulicos y sanitarios la ubicación de tubería para realizar los respectivos cortes al mampuesto con el fin de permitir el tránsito e instalación de las redes.
- **Verificación de vano de puertas:** Verificación de dimensiones de acuerdo con el diseño arquitectónico de la ubicación y medida de los vanos para la posterior instalación de puertas.
- **Verificación de vanos de ventanas:** Verificación de dimensiones de conformidad con el diseño arquitectónico de la ubicación y medida de los vanos para la posterior instalación de ventanas.
- **Instalación de dilatación estructural:** De acuerdo con la NSR-10, Título A, Capítulo A.9.4.1.a, los elementos no estructurales deben estar dilatados de la estructura, con el fin de evitar daños producto de las deformaciones propias de la estructura.

4. Columnetas de confinamiento

En esta cuarta fase se verifica la conformidad de tareas relacionadas con la colocación de refuerzos, traslapos, la aplicación del concreto y el alineamiento del elemento:

- **Colocación de refuerzo principal**

A continuación, se presenta la cantidad mínima de refuerzo que debe tener la columna de confinamiento:

a) Refuerzo longitudinal: No debe ser menor de 3 barras N° 3 (3/8”) o 10M (10 mm).

Asimismo, el área de refuerzo longitudinal debe ser mayor o igual a 0.0075 veces el área de la sección bruta del elemento. Sin embargo, el refuerzo longitudinal no puede ser menor al requerido para atender los esfuerzos de diseño de acuerdo con el D.10.7.

b) Refuerzo transversal: Tiene que emplearse refuerzo transversal con estribos de al menos diámetro N° 2 (1/4”) o 6M (6 mm), con un espaciado el cual no supere 1.5 veces la menor dimensión del elemento, o 200 mm. De ninguna manera, el refuerzo transversal debe ser inferior al mínimo solicitado para aguantar los esfuerzos de diseño, según lo dictaminado en D.10.7.

- **Traslapo, empalme, amarre de acero:**

D.4.2.5.3 Longitud de empalme por traslapo: esta tiene que ser similar a la longitud de desarrollo. Adicionalmente, las barras unidas mediante ensambladuras por traslapo que no tengan conexión no deben tener un espaciado transversal superior a una 1/5 de la longitud solicitada de traslapo, tampoco superar los 200 mm.

- **Aplicación de concreto o Grouting (vibración)**

D.10.8.6. Vaciado de las columnas de confinamiento: Al colocar el refuerzo horizontal y vertical de las columnas, se deben instalar los testeros laterales que funcionan de formaleta, lo que posibilita que concreto contacte con la superficie del muro confinado. Este debe estar libre de impurezas para que no se dañe su adherencia. Asimismo, el refuerzo vertical tiene que ser mayor para llevar a cabo los empalmes por traslapo con la columna superior. Finalmente, el remate de refuerzo vertical tiene que anclarse, con ganchos de 90°, en la viga de confinamiento. De esta manera, se asegura una vibración constante que evita espacios huecos que reducen la resistencia.

- **Alineamiento, nivelación y plomo**

Este parámetro permite verificar nivelaciones verticales y plomo general de la columneta dentro de las tolerancias establecidas en la NSR10.

5. Vigas de confinamiento

Los elementos de concreto reforzado colocados en el nivel superior e inferior de muros confinados se consideran vigas de confinamiento. Las vigas de amarre se despliegan de forma directa sobre los muros estructurales que confinan. En esa medida, la viga de cimentación se categoriza como una viga de amarre; por tal motivo, debe cumplir con los lineamientos estándar para este tipo de vigas.

D.10.6.2 Dimensiones Mínimas: Las dimensiones mínimas para las vigas de confinamiento deben ser las siguientes:

Espesor mínimo: El espesor mínimo de las vigas de confinamiento debe ser el mismo del muro confinado.

D.10.6.2.2 Área mínima: El área mínima de la sección transversal de los elementos de confinamiento es de 20 000 mm² (200 cm²). Si se utiliza en losa de entre piso maciza de al menos 100 mm de grosor, se pueden obviar las vigas de amarre en dicha zona, por lo que se coloca el refuerzo pertinente dentro de la losa. En vigas que necesitan enchapado, el ancho se podría reducir hasta 15 mm, toda vez que se aumente la altura para conservar el área estándar de la sección.

D.10.6.3 Ubicación: Se deben utilizar vigas horizontales de confinamiento en el remate y arranque del muro, en los entrepisos y a distancias libres verticales no mayores de 25 veces el espesor del muro. De igual modo, las vigas deben organizarse en anillos cerrados en un plano

horizontal, entrelazándose con los muros estructurales en ambas direcciones principales, con el objeto de constituir diafragmas mediante la utilización del entrepiso o la cubierta.

Deben ubicarse vigas amarres en los siguientes sitios:

a) A nivel de cimentación: Este conforma el primer nivel de amarre horizontal.

b) A nivel del sistema de entrepiso: las vigas de amarre deben ser parte del sistema de entrepiso.

c) A nivel del enrase de cubierta: hay dos alternativas para ubicar las vigas de amarre y la configuración del diafragma:

1. Vigas horizontales al nivel de dinteles más cintas de amarre como remate de las culatas.

2. Vigas de amarre horizontales en los muros sin culatas, combinadas con vigas de amarre inclinadas, configurando los remates de las culatas.

- **Traslapo, empalme, amarre de acero:**

D.4.2.5.3 Longitud de empalme por traslapo: La longitud de empalme por traslapo debe ser equivalente a la longitud de desarrollo. De igual modo, las barras no tienen que espaciarse de forma transversal más de una 1/5 parte de la longitud de traslapo o 200 mm.

- **Aplicación de concreto o Grouting (vibración):**

D.10.8.7. Vigas de confinamiento: Cuando se vacían las columnas de confinamiento, se vacía la losa o las vigas de confinamiento, las cuales están sobre los muros confinados y en contacto directo con tales muros, con el objeto de generar vibración continua para evitar vacíos que pueden ocasionar disminución en su resistencia.

- **Alineamiento, nivelación y plomo:**

Este parámetro posibilita verificar nivelaciones verticales y plomo general de la viga dentro de las tolerancias establecidas en la NSR10.

Las verificaciones en campo se producen en dos instancias (primera revisión y segunda revisión) para cada uno de los muros, por lo que se discrimina en el formato un número de identificación de este y su ubicación referenciada por los ejes de construcción. Seguidamente, se mencionan los directos responsables de ejecución de la actividad, con el debido diligenciamiento de los campos mencionados; en esa medida, el listado de verificación adquiere la cualidad de hoja de vida para cada muro de mampostería confinada no estructural dentro del proyecto y para cada uno de estos se asignan tres calificaciones diferentes:

A: Aprobado: Cuando el desarrollo de la actividad está conforme con todos los requisitos normativos, regulatorios y de diseño propuestos.

R: Rechazado: Cuando el desarrollo de la actividad no cumple con los requisitos normativos, regulatorios y de diseño evaluados, se debe iniciar un proceso de acciones correctivas.

N/A: No Aplica: Esta calificación se asigna en las evaluaciones del resultado de las acciones correctivas mencionadas en el ítem anterior, para las actividades que, en una primera revisión, se calificaron como aprobadas.

Como herramientas adicionales para el debido control de las acciones para construir muros confinados no estructurales, se adicionó la columna de fecha cuyo objetivo consiste en garantizar que las revisiones se registren de forma cronológica la columna de causales de no cumplimiento (restricciones), donde se consigna el detalle del incumplimiento. Como resultado, esto garantiza una adecuada trazabilidad en los procesos de revisión y posterior corrección. El listado de verificación anexa además la sección de rendimientos, la cual tiene con objetivo

principal documentar el registro de rendimientos diarios, los cuales se evaluarán frente a los rendimientos teóricos (ver Anexo 1).

2.7 Implementación del listado de verificación

Posterior al desarrollo y presentación de los indicadores que hicieron parte del listado de verificación, se inicia al proceso pedagógico de socialización y aplicación del listado en cada una de las fases de realización de la mampostería confinada no estructural. Ahora bien, este proceso se dirige al personal de supervisión y técnicos de ejecución, con el objetivo de aclarar conceptos normativos y técnicos que, basados en los resultados, evidencian un nivel de comprensión bajo o insuficiente sobre los conceptos normativos y técnicos involucrados en las actividades que no alcanzan la calificación de aprobado.

El proceso de implantación del listado de verificación se desarrolla como una herramienta viva que permite actualizaciones sobre la marcha, de acuerdo con el avance de ejecución de cada actividad, aplicándose a la culminación de esta. Teniendo en cuenta lo anterior, se da cumplimiento de la norma y de los diseños de los muros de mampostería confinada no estructural antes de dar paso a las siguientes actividades, encadenadas dentro del proceso constructivo.

A partir del momento cero de implementación del listado de verificación, se inicia en paralelo con el registro de desempeño de trabajo asignado al desarrollo de cada actividad. De esta forma, se obtiene un registro documentado sobre la evolución de la mejora continua que evidencia el rendimiento de la ejecución. En ese sentido, se comprueba así que el uso del listado de verificación contribuye de forma notable a la reducción de reprocesos, el uso racional de

materiales e insumos, y el logro de los demás objetivos propuestos, entre los que se encuentra la seguridad de los trabajadores y la de los usuarios futuros de la estructura construida.

Por otro lado, como estrategia de monitoreo y seguimiento, se planteó generar un espacio de evaluación de la correcta implementación del listado de verificación, con una periodicidad semanal. Este seguimiento documenta las restricciones para la no ejecución de la actividad en los tiempos estipulados, cuyos registros se encuentran en el LPS, lo que posibilita tomar decisiones que permitan dar cumplimiento a la programación de obra sin que se vea afectado el presupuesto destinado para la ejecución de esta. Asimismo, se involucraba el personal de supervisión técnica para recibir la retroalimentación que diera lugar al proceso de aplicación del listado, con el objeto de validar la percepción frente a la curva de aprendizaje y la correcta revisión de los parámetros técnicos que conforman el listado.

2.8 Impacto de la implementación del listado de verificación

En este punto, se exponen los hallazgos a partir del análisis comparativo de los rendimientos previos y posteriores a la aplicación del listado de verificación para la ejecución de muros en mampostería no estructural. Cabe señalar que este procedimiento se llevó a cabo en un lapso de 6 semanas, en el cual, de forma diaria, se tomó registro de los rendimientos de ejecución de muros para cada una de las zonas en comparación con el rendimiento diario estimado en $m^2/día$. En suma, este rendimiento se consolidó al realizar la sumatoria de rendimientos semanales por operario, con la finalidad de obtener el rendimiento promedio diario, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento promedio diario} = \frac{\Sigma \text{Rendimiento diario}}{\text{Numero de dias trabajados}}$$

Ecuación 2. Rendimiento promedio diario.

Nota. Elaboración Propia.

A continuación, se presentan los registros tomados como base para este análisis:

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LISTADO DE VERIFICACIÓN BASADO EN LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION 61

Datos tomados ANTES de la implementación del listado de verificación. Ver Anexos 2 y 3

ZONA	ACTIVIDAD	CANTIDAD TOTAL X ZONA	CANTIDAD X PISO	RENDIMIENTO DIARIO ESTIMADO	SEMANA 1							RENDIMIENTO SEMANAL	REDIMIENTO PROMEDIO DIARIO
					L	M	MI	J	V	S	D		
					9/10/2023	10/10/2023	11/10/2023	12/10/2023	13/10/2023	14/10/2023	#####		
TIENDA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	221 m ²	116 m ²	10,00 m ² /día	5,30 m ² /día	6,10 m ² /día	5,05 m ² /día	6,36 m ² /día	7,75 m ² /día	5,15 m ² /día		35,71 m ² /día	5,95 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		105 m ²	10,00 m ² /día	4,25 m ² /día	5,00 m ² /día	5,87 m ² /día	6,67 m ² /día	5,45 m ² /día	4,24 m ² /día		31,48 m ² /día	5,25 m ² /día
ZONA DE CARGA Y DESCARGA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	156 m ²	87 m ²	10,00 m ² /día					6,12 m ² /día	7,21 m ² /día		13,33 m ² /día	6,67 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		69 m ²	10,00 m ² /día						7,13 m ² /día		7,13 m ² /día	7,13 m ² /día
ZONA DE PATIO CONSTRUCTOR	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	373 m ²	131 m ²	10,00 m ² /día									
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		115 m ²	10,00 m ² /día									

ZONA	ACTIVIDAD	CANTIDAD TOTAL X ZONA	CANTIDAD X PISO	RENDIMIENTO DIARIO ESTIMADO	SEMANA 2							RENDIMIENTO SEMANAL	REDIMIENTO PROMEDIO DIARIO
					L	M	MI	J	V	S	D		
					16/10/2023	17/10/2023	18/10/2023	19/10/2023	20/10/2023	21/10/2023	22/10/2023		
TIENDA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	221 m ²	116 m ²	10,00 m ² /día		6,48 m ² /día	6,26 m ² /día	6,06 m ² /día	7,18 m ² /día	5,38 m ² /día		31,36 m ² /día	6,27 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		105 m ²	10,00 m ² /día		7,23 m ² /día	6,18 m ² /día	6,87 m ² /día	6,04 m ² /día	5,14 m ² /día		31,46 m ² /día	6,29 m ² /día
ZONA DE CARGA Y DESCARGA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	156 m ²	87 m ²	10,00 m ² /día		8,72 m ² /día	6,19 m ² /día	5,08 m ² /día	7,56 m ² /día	5,77 m ² /día		33,32 m ² /día	6,66 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		69 m ²	10,00 m ² /día		7,45 m ² /día	8,86 m ² /día	5,96 m ² /día	8,69 m ² /día	5,09 m ² /día		36,05 m ² /día	7,21 m ² /día
ZONA DE PATIO CONSTRUCTOR	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	373 m ²	131 m ²	10,00 m ² /día				6,32 m ² /día	8,21 m ² /día	4,16 m ² /día		18,69 m ² /día	6,23 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		115 m ²	10,00 m ² /día				8,93 m ² /día	7,01 m ² /día	5,55 m ² /día		21,49 m ² /día	7,16 m ² /día

Este registro se realizó para determinar los rendimientos iniciales de la actividad previo a la implementación del listado de verificación, con el fin de realizar un comparativo que fuese confiable para establecer el comportamiento de los indicadores frente a un procedimiento evaluado sistemáticamente, en consonancia con uno no monitoreado ni calificado.

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LISTADO DE VERIFICACIÓN BASADO EN LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION 62

Datos tomados después de la implementación del listado de verificación (ver anexos 4, 5, 6 y 7).

ZONA	ACTIVIDAD	CANTIDAD TOTAL X ZONA	CANTIDAD X PISO	RENDIMIENTO DIARIO ESTIMADO	SEMANA 3							RENDIMIENTO SEMANAL	REDIMIENTO PROMEDIO DIARIO
					L	M	MI	J	V	S	D		
					23/10/2023	24/10/2023	25/10/2023	26/10/2023	27/10/2023	28/10/2023	29/10/2023		
TIENDA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	221 m ²	116 m ²	10,00 m ² /día	7,78 m ² /día	7,93 m ² /día	6,98 m ² /día	7,46 m ² /día	7,14 m ² /día	5,32 m ² /día		42,61 m ² /día	7,10 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		105 m ²	10,00 m ² /día	8,88 m ² /día	8,06 m ² /día	8,23 m ² /día	6,21 m ² /día	6,17 m ² /día	4,78 m ² /día		42,33 m ² /día	7,06 m ² /día
ZONA DE CARGA Y DESCARGA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	156 m ²	87 m ²	10,00 m ² /día	6,23 m ² /día	5,89 m ² /día	6,35 m ² /día	4,89 m ² /día	6,35 m ² /día	4,55 m ² /día		34,26 m ² /día	5,71 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		69 m ²	10,00 m ² /día	7,41 m ² /día	6,87 m ² /día	7,69 m ² /día	6,14 m ² /día				28,11 m ² /día	7,03 m ² /día
ZONA DE PATIO CONSTRUCTOR	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	373 m ²	131 m ²	10,00 m ² /día	6,89 m ² /día	6,31 m ² /día	6,54 m ² /día	5,98 m ² /día	7,01 m ² /día	4,19 m ² /día		36,92 m ² /día	6,15 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		115 m ²	10,00 m ² /día	6,26 m ² /día	6,07 m ² /día	5,87 m ² /día	6,12 m ² /día	6,48 m ² /día	5,32 m ² /día		36,12 m ² /día	6,02 m ² /día

ZONA	ACTIVIDAD	CANTIDAD TOTAL X ZONA	CANTIDAD X PISO	RENDIMIENTO DIARIO ESTIMADO	SEMANA 4							RENDIMIENTO SEMANAL	REDIMIENTO PROMEDIO DIARIO
					L	M	MI	J	V	S	D		
					30/10/2023	31/10/2023	1/11/2023	2/11/2023	3/11/2023	4/11/2023	5/11/2023		
TIENDA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	221 m ²	116 m ²	10,00 m ² /día	7,26 m ² /día							7,26 m ² /día	7,26 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		105 m ²	10,00 m ² /día									
ZONA DE CARGA Y DESCARGA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	156 m ²	87 m ²	10,00 m ² /día									
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		69 m ²	10,00 m ² /día									
ZONA DE PATIO CONSTRUCTOR	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	373 m ²	131 m ²	10,00 m ² /día	6,37 m ² /día	7,16 m ² /día	7,04 m ² /día	7,23 m ² /día	8,45 m ² /día	6,25 m ² /día		42,50 m ² /día	7,08 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		115 m ²	10,00 m ² /día	6,01 m ² /día	6,89 m ² /día	7,98 m ² /día	7,56 m ² /día	7,89 m ² /día	6,32 m ² /día		42,65 m ² /día	7,11 m ² /día

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LISTADO DE VERIFICACIÓN BASADO EN LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION

63

ZONA	ACTIVIDAD	CANTIDAD TOTAL X ZONA	CANTIDAD X PISO	RENDIMIENTO DIARIO ESTIMADO	SEMANA 5							RENDIMIENTO SEMANAL	REDIMIENTO PROMEDIO DIARIO
					L	M	MI	J	V	S	D		
					6/11/2023	7/11/2023	8/11/2023	9/11/2023	10/11/2023	11/11/2023	12/11/2023		
TIENDA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	221 m²	116 m²	10,00 m²/día									
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		105 m²	10,00 m²/día									
ZONA DE CARGA Y DESCARGA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	156 m²	87 m²	10,00 m²/día									
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		69 m²	10,00 m²/día									
ZONA DE PATIO CONSTRUCTOR	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	373 m²	131 m²	10,00 m²/día	7,31 m²/día	7,76 m²/día	7,48 m²/día	8,16 m²/día	7,98 m²/día	5,89 m²/día		44,58 m²/día	7,43 m²/día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		115 m²	10,00 m²/día	6,89 m²/día	5,31 m²/día	7,69 m²/día	7,89 m²/día	8,96 m²/día	6,15 m²/día		42,89 m²/día	7,15 m²/día

ZONA	ACTIVIDAD	CANTIDAD TOTAL X ZONA	CANTIDAD X PISO	RENDIMIENTO DIARIO ESTIMADO	SEMANA 6							RENDIMIENTO SEMANAL	REDIMIENTO PROMEDIO DIARIO
					L	M	MI	J	V	S	D		
					13/11/2023	14/11/2023	15/11/2023	16/11/2023	17/11/2023	18/11/2023	19/11/2023		
TIENDA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	221 m²	116 m²	10,00 m²/día									
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		105 m²	10,00 m²/día									
ZONA DE CARGA Y DESCARGA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	156 m²	87 m²	10,00 m²/día									
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		69 m²	10,00 m²/día									
ZONA DE PATIO CONSTRUCTOR	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	373 m²	131 m²	10,00 m²/día	7,26 m²/día	8,45 m²/día	8,63 m²/día	8,25 m²/día				32,59 m²/día	8,15 m²/día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		115 m²	10,00 m²/día	7,93 m²/día							7,93 m²/día	7,93 m²/día

El seguimiento posterior realizado con una frecuencia semanal permitió verificar la influencia que generó la aplicación del listado de verificación en la mejora del aspecto rentable mediante el perfeccionamiento de los procesos constructivos, debido a que, con la evaluación continua, el personal operativo adoptó las recomendaciones de la forma más idónea en el cumplimiento a la normativa vigente NSR-10 y el diseño de elementos no estructurales para el proyecto.

En ese sentido, y de conformidad con los datos obtenidos, se calcularon los rendimientos promedio diarios semanales mediante la ecuación II, donde se determinaron estos hallazgos:

Tabla 7

Resultados rendimientos promedios diarios.

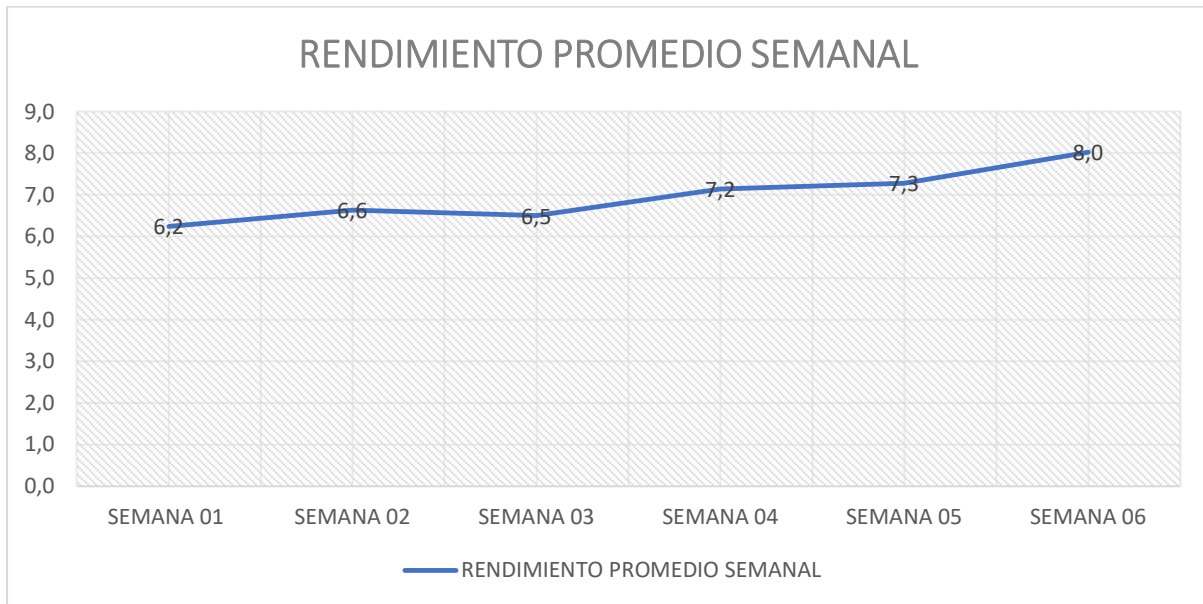
SEMANAS	RENDIMIENTO PROMEDIO SEMANAL
SEMANA 01	6,2
SEMANA 02	6,6
SEMANA 03	6,5
SEMANA 04	7,2
SEMANA 05	7,3
SEMANA 06	8,0

Nota. Elaboración propia.

En relación con los datos presentados, se evidenció, mediante la siguiente gráfica, la variación en los rendimientos de la ejecución de la mampostería no estructural, los rendimientos previos a la implementación (semana 01- semana 02) y posterior a la implementación del listado de verificación (semana 03 – semana 04 – semana 05 – semana 06):

Figura 9

Rendimiento Promedio Semanal.



Nota. Elaboración Propia

Como se evidencia en la gráfica anterior, en las dos primeras semanas se obtuvieron unos rendimientos promedios de 6.2 m²/día y 6.6 m²/día, respectivamente, los cuales estaban por debajo del rendimiento esperado el cual era de 10 m²/día. Por tal motivo, fue necesario la implementación del listado de verificación a partir de la semana 03, en la cual se evidenció una disminución en el rendimiento a comparación de la semana 02, producto del análisis y capacitación del personal en los parámetros por evaluar. Posterior a la etapa de análisis e implementación, los rendimientos de las semanas siguientes aumentaron en la semana 04 a 7.2 m²/día, semana 05 a 7.3 m²/día. Finalmente, se evidenció que la semana 06 obtuvo un rendimiento promedio de 8.0 m²/día.

Además, se pudo evidenciar, a partir de la implementación del listado de verificación, que fue notable la reducción de los reprocesos en la ejecución de las actividades, al repercutir

directamente en el manejo más preciso del uso de los materiales y medición del presupuesto. Lo anterior se llevó a cabo con base en el cálculo obtenido al aplicar la ecuación I. A través de esta se determinó que, producto de la implementación del listado de verificación, los reprocesos se redujeron en un 12.5 %; de esta forma, se optimizaron los recursos tanto de materiales como de mano de obra.

Rendimiento promedio diario previo a la implementación: $6.4 \frac{m^2}{día}$

Rendimiento promedio diario posterior a la implementación: $7.2 \frac{m^2}{día}$

$$\% \text{ Desperdicio} = \frac{7.2 \frac{m^2}{día} - 6.4 \frac{m^2}{día}}{6.4 \frac{m^2}{día}} * 100\% = 12.5\%$$

Conclusiones y recomendaciones

En el proceso de realización del diseño de la lista de verificación para la construcción de muros en mampostería no estructural, bajo un análisis más detallado de los parámetros exigidos y dando cumplimiento a la normativa expuesta la NSR-10 y con base en el diseño de elementos no estructurales y acorde al diseño arquitectónico, se comprobó que las fallas recurrentes evidenciadas se debían al incumplimiento de factores mínimos de ejecución que, al ir avanzando en el proceso, generaban reprocesos en el momento de recibir el producto final.

Por ejemplo, la tolerancia de desplome de un muro o de profundidad de anclajes al no tener un seguimiento de verificación inicial ocasiona la falta de corrección a tiempo, lo que obliga a la demolición de este. Como resultado, se genera la pérdida de tiempo en la mano de obra y desperdicio de materia prima, factores que afectan directamente el presupuesto inicial proyectado para dicha actividad.

La construcción del diseño del listado de verificación incluido en esta guía metodológica, en función de los conceptos de la filosofía Lean Construction, para el proyecto en curso permitió que el personal de supervisión quedara inmerso en un proceso pedagógico que logró la adopción de este como una herramienta de uso continuo. Como resultado, se determinó que esto facilitó el correcto seguimiento en la revisión detallada del proceso constructivo para la construcción de muros de mampostería no estructural. Por lo tanto, lo anterior posibilitó que se pudiera evaluar la evolución de mejora por medio de la definición de índices tanto de calidad como de rendimiento, lo que facilitó evidenciar, a partir de la tercera semana, una mano de obra más calificada y mayor concientización en el uso adecuado de materiales de obra.

De esta forma, se evitaron reprocesos identificados con anterioridad. Además, permite al cliente tener un parte de tranquilidad en cuanto a la ejecución de la actividad, gracias a que cada muro no estructural tendrá un historial de su proceso constructivo y de los parámetros que se tuvieron en cuenta para su desarrollo. De este modo, se garantiza la calidad, la seguridad y la estabilidad del elemento.

En suma, se concluyó que la presente guía metodológica es una herramienta que permite orientar a profesionales del sector de la construcción, personal de supervisión, operativo y comunidad en general, en el desarrollo de un proceso de construcción de muros de mampostería no estructural confinada, en cuanto a aspectos mínimos por considerar en las diversas fases de ejecución de proyectos con mampostería de este tipo. Por consiguiente, su elaboración y aplicación beneficia a empresas constructoras, dado que la identificación de estos factores potencializa la realización de este tipo de actividad llevándola al nivel de calidad y seguridad con mayor precisión.

Referencias

- Afanador, G., Guerrero, G., & Monroy, S. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 22(1), 43-58. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5065720>
- Agrado, V. (2014). *Desarrollo de proyectos arquitectónicos con mampostería estructural*. Universidad Católica de Pereira. <http://hdl.handle.net/10785/939>
- Ahumada, G. (2015). *Reforzamiento y rehabilitación de fachadas de mampostería, / construidas en Bogotá DC- Colombia, antes de la expedición del reglamento NSR-10*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/54911>
- Alcalá, J. S. (2013). *Estudio Sísmico Preliminar de Muros Estructurales*. Universidad de los Andes.
- Alegre, V., & Cansario, M. (2013). El control de calidad en España y Colombia. Diferencias en su filosofía. *Revista ALCONPAT*, 3(2), 122-128. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v3i2.48>
- Arteta, A. (2000). *Programación y procesos constructivos en la construcción de un edificio de cinco pisos con albañilería armada* [Trabajo de grado]. Universidad Nacional de Ingeniería. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/16433>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS]. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo-resistente NSR-10*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Caballero, S., Zambrano, B., & Ponce, E. (2018). Estado actual de la aplicación de la metodología lean Construction en la gestión de proyectos de construcción en Colombia. *Ingeniare*, 2(25), 39-65. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.25.5968>

- Cáceres, J., Pérez, M., & López, R. (2020). Impacto de la calidad en la mampostería no estructural: un enfoque práctico. *Revista de la Construcción*.
- Cañón, L. F. (2016). *Aplicación de la metodología de evaluación sísmica de elementos no estructurales propuesta en el documento ASCE/SEI 31-03*. Universidad Distrital Francisco de José Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/7158>
- Cardona, M. S. (1999). Análisis y diseño de muros de mampostería no estructural a la luz de NSR-98. Envigado: Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- Castilla, E., & Villalobos, F. (1997). Evaluación de las longitudes de solape de acero de refuerzo SUPERVISIÓN TÉCNICA DE MUROS 40 vertical en mampostería armada internamente bajo acciones sísmicas. *Boletín Técnico IMME*, 35(3), 20-45.
- Criales, C., Peñaranda, F., & Sánchez, C. (2018). *Bloques de mampostería estructural de unión mecánica en Villavicencio* [Proyecto de Investigación]. Universidad Cooperativa de Colombia. <http://repository.ucc.edu.co/handle/ucc/4307>
- Díaz, D., & Abreu, C. (2017). *Análisis comparativos de factibilidad entre sistema de construcción con formaletas metálicas vs método construcción de mampostería armada* [Trabajo de grado]. Universidad Nacional Pedro Henrique Ureña. <http://repositorio.unphu.edu.do/handle/123456789/1193>
- Fonseca, R. (2018). *Propuesta para la optimización de los procesos constructivos en sistemas de mampostería estructural, para la construcción de vivienda multifamiliar VIS, mediante la implementación de BIM*. Universidad Nacional de Colombia. <http://bdigital.unal.edu.co/69796/8/RamiroFonseca.2018.pdf>

- García, N., Gómez, G., & Monroy, S. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(1), 43-58.
<https://doi.org/10.18359/rcin.248>
- Gualdrón, A., & López, S. (2020). *Proceso con la metodología Lean Construction para proyectos de vivienda social en fase de estructura*. Universidad Católica.
<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/bc7c0133-7198-4ecb-b3ab-ec68dde41ac6>
- Hincapié, C. D. (2020). *El impacto del lean constru proyectos de construcción en Colombia*. San José Cúcuta.
https://www.researchgate.net/publication/347623310_EL_IMPACTO_DEL_LEAN_CONSTRUCTION_PARA_LA_GESTION_DE_PROYECTOS_DE_CONSTRUCCION_EN_COLOMBIA
- ICONTEC. (2019). **Normas Técnicas para la Construcción en Colombia**. Bogotá, Colombia.
- López, M. D., Henao, M., & Valencia, M. (2015). Lean Construction – LC bajo pensamiento Lean. *Revista Ingenierías*, 16(30). 10.22395/rium.v16n30a6
- Martínez, G. (2019). *¡Dile adiós al traslapo de varillas! Los conectores mecánicos te ahorrarán hasta un 10% del acero de refuerzo*.
<https://www.ingenieriaconstruccioncolombia.com/traslapo-de-varillas/#:~:text=El%20traslapo%20o%20empalme%20es,evite%20una%20falla%20por%20empalme.>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [Minvivienda]. (2021). *Guía de Aseguramiento de la Calidad en la Construcción*. Minvivienda.

Montoya, a. 1. (2016). *Formulación metodología LEAN CONSTRUCCIÓN y PMI para mampostería*. Universidad Militar Nueva Granada.

<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/15651?locale-attribute=en>

Pons, J. F. (2014). *Introducción a Lean Construction*. Fundación Laboral de la Construcción.

Vásquez, J. C. (2015). *Propuesta de mejora para la actividad de mampostería divisoria*.

Universidad de los Andes.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/18533/u721692.pdf?sequence>

Anexos

Anexo 1. Formato listado de verificación

ACTIVIDAD	ACTIVIDAD REVISADA	PRIMERA REVISIÓN				SEGUNDA REVISIÓN				CAUSALES DE NO CUMPLIMIENTO (RESTRICCIONES)	RENDIMIENTO DIARIO		FECHA	OBSERVACIÓN	
		ESTADO			FECHA	ESTADO			FECHA		CANE.	UND			
		A	R	N/A		A	R	N/A							
01. PRELIMINARES	Localización y replanteo de ejes														
	Forme de primera hilada														
	Ubicación de columnetas														
02. ANCLAJE	Profundidad de perforación														
	Díámetro de perforación														
	Limpieza de perforación														
	Aplicación de Epóxido														
03. MURO EN MAMPOSTERÍA	Aplicación de Mortero de pega														
	Grafiles y conectores														
	Espesor de mortero de junta (10 mm)														
	Emboquillado juntas horizontales y verticales														
	Alineamiento, nivelación y plomo														
	Instalación eléctrica														
	Instalación hidráulicas y sanitarias														
	Verificación de vano de ventana														
	Verificación de vano de puerta														
	Instalación de dilatación estructural														
04. COLUMNETAS	Colocación de refuerzo principal														
	Traslapo, empalme, amarre														
	Aplicación de Grouting														
	Alineamiento, nivelación y plomo														
05. VIGUETAS - CINTAS DE CONFINAMIENTO	Colocación de refuerzo principal														
	Traslapo, empalme, amarre														
	Aplicación de Grouting														
	Alineamiento, nivelación y plomo														
CONTRATISTA		CONSTRUCTOR										INTERVENTORIA			

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LISTADO DE VERIFICACIÓN BASADO EN LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION

Anexo 2. Rendimientos: Semana 1

ZONA	ACTIVIDAD	CANTIDAD TOTAL X ZONA	CANTIDAD X PISO	RENDIMIENTO DIARIO ESTIMADO	SEMANA 1							RENDIMIENTO SEMANAL	REDIMIENTO PROMEDIO DIARIO
					L	M	MI	J	V	S	D		
					9/10/2023	10/10/2023	11/10/2023	12/10/2023	13/10/2023	14/10/2023	#####		
TIENDA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	221 m²	116 m²	10,00 m²/día	5,30 m²/día	6,10 m²/día	5,05 m²/día	6,36 m²/día	7,75 m²/día	5,15 m²/día		35,71 m²/día	5,95 m²/día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		105 m²	10,00 m²/día	4,25 m²/día	5,00 m²/día	5,87 m²/día	6,67 m²/día	5,45 m²/día	4,24 m²/día		31,48 m²/día	5,25 m²/día
ZONA DE CARGA Y DESCARGA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	156 m²	87 m²	10,00 m²/día					6,12 m²/día	7,21 m²/día		13,33 m²/día	6,67 m²/día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		69 m²	10,00 m²/día						7,13 m²/día		7,13 m²/día	7,13 m²/día
ZONA DE PATIO CONSTRUCTOR	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	373 m²	131 m²	10,00 m²/día									
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		115 m²	10,00 m²/día									

Anexo 3. Rendimientos: Semana 2

ZONA	ACTIVIDAD	CANTIDAD TOTAL X ZONA	CANTIDAD X PISO	RENDIMIENTO DIARIO ESTIMADO	SEMANA 2							RENDIMIENTO SEMANAL	REDIMIENTO PROMEDIO DIARIO
					L	M	MI	J	V	S	D		
					16/10/2023	17/10/2023	18/10/2023	19/10/2023	20/10/2023	21/10/2023	22/10/2023		
TIENDA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	221 m²	116 m²	10,00 m²/día		6,48 m²/día	6,26 m²/día	6,06 m²/día	7,18 m²/día	5,38 m²/día		31,36 m²/día	6,27 m²/día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		105 m²	10,00 m²/día		7,23 m²/día	6,18 m²/día	6,87 m²/día	6,04 m²/día	5,14 m²/día		31,46 m²/día	6,29 m²/día
ZONA DE CARGA Y DESCARGA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	156 m²	87 m²	10,00 m²/día		8,72 m²/día	6,19 m²/día	5,08 m²/día	7,56 m²/día	5,77 m²/día		33,32 m²/día	6,66 m²/día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		69 m²	10,00 m²/día		7,45 m²/día	8,86 m²/día	5,96 m²/día	8,69 m²/día	5,09 m²/día		36,05 m²/día	7,21 m²/día
ZONA DE PATIO CONSTRUCTOR	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	373 m²	131 m²	10,00 m²/día				6,32 m²/día	8,21 m²/día	4,16 m²/día		18,69 m²/día	6,23 m²/día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		115 m²	10,00 m²/día				8,93 m²/día	7,01 m²/día	5,55 m²/día		21,49 m²/día	7,16 m²/día

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LISTADO DE VERIFICACIÓN BASADO EN LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION

Anexo 4. Rendimientos: Semana 3

ZONA	ACTIVIDAD	CANTIDAD TOTAL X ZONA	CANTIDAD X PISO	RENDIMIENTO DIARIO ESTIMADO	SEMANA 3							RENDIMIENTO SEMANAL	REDIMIENTO PROMEDIO DIARIO
					L	M	MI	J	V	S	D		
					23/10/2023	24/10/2023	25/10/2023	26/10/2023	27/10/2023	28/10/2023	29/10/2023		
TIENDA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	221 m ²	116 m ²	10,00 m ² /día	7,78 m ² /día	7,93 m ² /día	6,98 m ² /día	7,46 m ² /día	7,14 m ² /día	5,32 m ² /día		42,61 m ² /día	7,10 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		105 m ²	10,00 m ² /día	8,88 m ² /día	8,06 m ² /día	8,23 m ² /día	6,21 m ² /día	6,17 m ² /día	4,78 m ² /día		42,33 m ² /día	7,06 m ² /día
ZONA DE CARGA Y DESCARGA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	156 m ²	87 m ²	10,00 m ² /día	6,23 m ² /día	5,89 m ² /día	6,35 m ² /día	4,89 m ² /día	6,35 m ² /día	4,55 m ² /día		34,26 m ² /día	5,71 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		69 m ²	10,00 m ² /día	7,41 m ² /día	6,87 m ² /día	7,69 m ² /día	6,14 m ² /día				28,11 m ² /día	7,03 m ² /día
ZONA DE PATIO CONSTRUCTOR	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	373 m ²	131 m ²	10,00 m ² /día	6,89 m ² /día	6,31 m ² /día	6,54 m ² /día	5,98 m ² /día	7,01 m ² /día	4,19 m ² /día		36,92 m ² /día	6,15 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		115 m ²	10,00 m ² /día	6,26 m ² /día	6,07 m ² /día	5,87 m ² /día	6,12 m ² /día	6,48 m ² /día	5,32 m ² /día		36,12 m ² /día	6,02 m ² /día

Anexo 5. Rendimientos: Semana 4

ZONA	ACTIVIDAD	CANTIDAD TOTAL X ZONA	CANTIDAD X PISO	RENDIMIENTO DIARIO ESTIMADO	SEMANA 4							RENDIMIENTO SEMANAL	REDIMIENTO PROMEDIO DIARIO
					L	M	MI	J	V	S	D		
					30/10/2023	31/10/2023	1/11/2023	2/11/2023	3/11/2023	4/11/2023	5/11/2023		
TIENDA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	221 m ²	116 m ²	10,00 m ² /día	7,26 m ² /día							7,26 m ² /día	7,26 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		105 m ²	10,00 m ² /día									
ZONA DE CARGA Y DESCARGA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	156 m ²	87 m ²	10,00 m ² /día									
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		69 m ²	10,00 m ² /día									
ZONA DE PATIO CONSTRUCTOR	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	373 m ²	131 m ²	10,00 m ² /día	6,37 m ² /día	7,16 m ² /día	7,04 m ² /día	7,23 m ² /día	8,45 m ² /día	6,25 m ² /día		42,50 m ² /día	7,08 m ² /día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		115 m ²	10,00 m ² /día	6,01 m ² /día	6,89 m ² /día	7,98 m ² /día	7,56 m ² /día	7,89 m ² /día	6,32 m ² /día		42,65 m ² /día	7,11 m ² /día

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LISTADO DE VERIFICACIÓN BASADO EN LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION

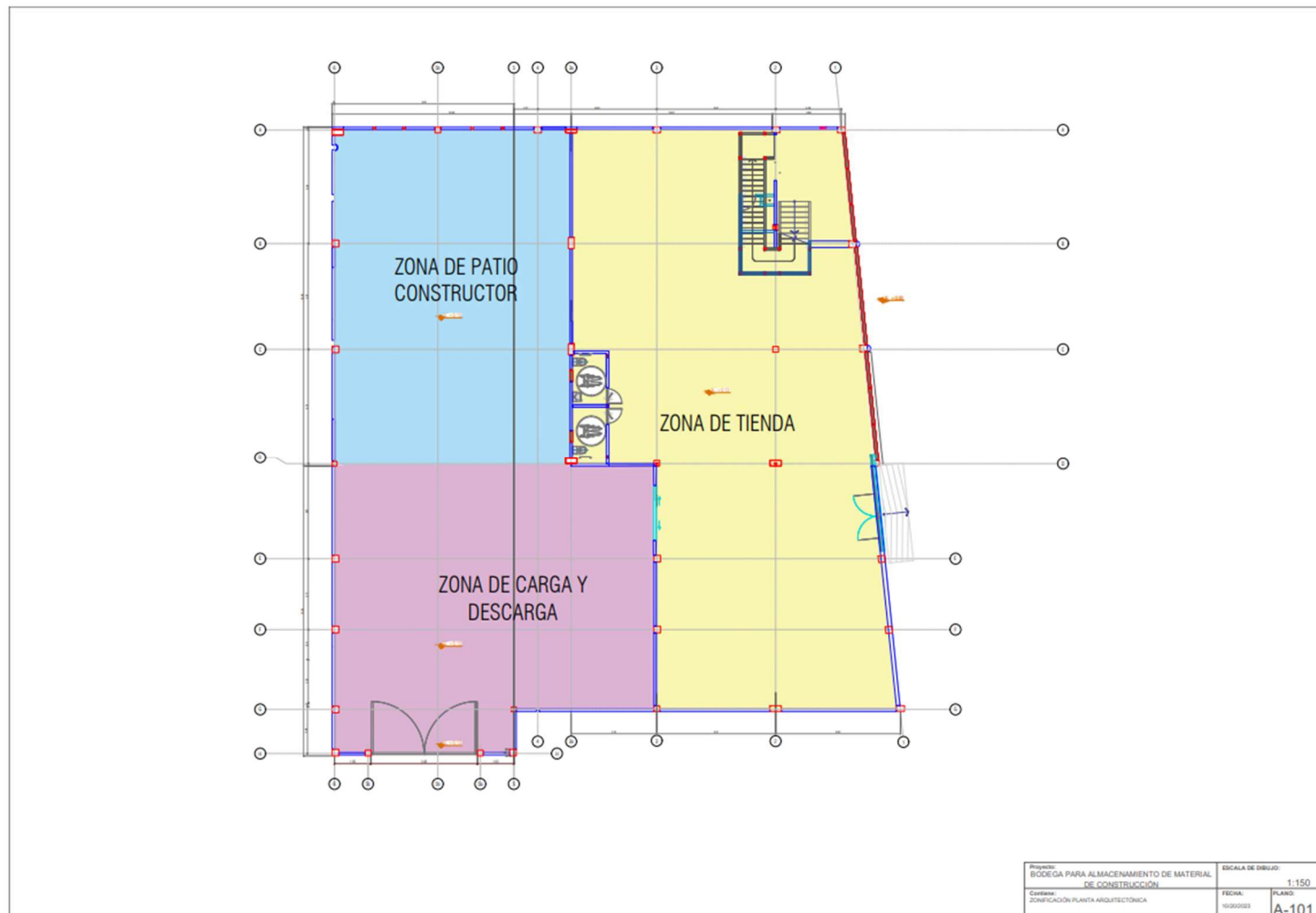
Anexo 6. Rendimientos: Semana 5

ZONA	ACTIVIDAD	CANTIDAD TOTAL X ZONA	CANTIDAD X PISO	RENDIMIENTO DIARIO ESTIMADO	SEMANA 5							RENDIMIENTO SEMANAL	REDIMIENTO PROMEDIO DIARIO
					L 6/11/2023	M 7/11/2023	MI 8/11/2023	J 9/11/2023	V 10/11/2023	S 11/11/2023	D 12/11/2023		
TIENDA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	221 m²	116 m²	10,00 m²/día									
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		105 m²	10,00 m²/día									
ZONA DE CARGA Y DESCARGA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	156 m²	87 m²	10,00 m²/día									
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		69 m²	10,00 m²/día									
ZONA DE PATIO CONSTRUCTOR	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	373 m²	131 m²	10,00 m²/día	7,31 m²/día	7,76 m²/día	7,48 m²/día	8,16 m²/día	7,98 m²/día	5,89 m²/día		44,58 m²/día	7,43 m²/día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		115 m²	10,00 m²/día	6,89 m²/día	5,31 m²/día	7,69 m²/día	7,89 m²/día	8,96 m²/día	6,15 m²/día		42,89 m²/día	7,15 m²/día

Anexo 7. Rendimientos: Semana 6

ZONA	ACTIVIDAD	CANTIDAD TOTAL X ZONA	CANTIDAD X PISO	RENDIMIENTO DIARIO ESTIMADO	SEMANA 6							RENDIMIENTO SEMANAL	REDIMIENTO PROMEDIO DIARIO
					L 13/11/2023	M 14/11/2023	MI 15/11/2023	J 16/11/2023	V 17/11/2023	S 18/11/2023	D 19/11/2023		
TIENDA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	221 m²	116 m²	10,00 m²/día									
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		105 m²	10,00 m²/día									
ZONA DE CARGA Y DESCARGA	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	156 m²	87 m²	10,00 m²/día									
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		69 m²	10,00 m²/día									
ZONA DE PATIO CONSTRUCTOR	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 1ER PISO	373 m²	131 m²	10,00 m²/día	7,26 m²/día	8,45 m²/día	8,63 m²/día	8,25 m²/día				32,59 m²/día	8,15 m²/día
	MAMPOSTERIA INTERNA BLOQUE 2DO PISO		115 m²	10,00 m²/día	7,93 m²/día							7,93 m²/día	7,93 m²/día

Anexo 8. Planta Arquitectónica caso de estudio, bodega de almacenamiento de material de construcción



Anexo 9. Plano de diseño de elementos no estructurales caso de estudio, bodega de almacenamiento de material de construcción

