

Pasantía de investigación metodología para el mejoramiento del proceso constructivo de la colocación de mampostería basado en los principios y herramientas de Lean Six-Sigma para empresas constructoras del Área Metropolitana de Bucaramanga

Laura Nathalia Lozano Reyes

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Civil

Director

Guillermo Mejía Aguilar

PhD en Gerencia de Proyectos de Construcción

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2022

Tabla de Contenido

Introducción	9
1. Objetivos	11
1.1 Objetivo General	11
1.2 Objetivos Específicos	11
2. Marco Teórico	12
2.1 Lean Construction	12
2.2 Herramientas Lean Construction.....	15
2.3 Six Sigma	17
2.4 Lean Six Sigma	20
2.5 Mampostería.....	23
2.6 Pérdidas en Proyectos de Construcción	24
3. Estado del Arte de Lean Six Sigma.....	27
4. Metodología.....	31
4.1 Caso de Estudio.....	33
4.2 Aplicación de la Metodología DMAIC	35
5. Resultados y Discusión	35
5.1 Clasificación de Actividades en Obra	35
5.2 Factores de Pérdidas.....	40

MEJORA DE PROCESO CONSTRUCTIVO BASADA EN LEAN SIX-SIGMA 3

5.3 Análisis de las Actividades40

5.4 Recomendaciones.....41

6. Conclusiones42

Referencias43

Apéndices48

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Nube de palabras de SciVal generada aplicando filtro por el área Civil and Structural Engineering.</i>	28
Figura 2. <i>Gráfica de frecuencia de frases claves o Keyphrases vs tiempo de SciVal generada aplicando filtro por el área Civil and Structural Engineering</i>	29
Figura 3. <i>Nube de palabras de SciVal generada aplicando filtro por el área Building and construction.</i>	29
Figura 4. <i>Gráfica de frecuencia de frases claves o Keyphrases vs tiempo de SciVal generada aplicando filtro por el área Building and construction.</i>	30
Figura 5. <i>Nube de palabras de SciVal generada aplicando filtro por el área Architecture.</i>	30
Figura 6. <i>Gráfica de frecuencia de frases claves o Keyphrases vs tiempo de SciVal generada aplicando filtro por el área Architecture.</i>	31
Figura 7. <i>Plano muros 5 al 11 cocina restaurante nivel 3.</i>	33
Figura 8. <i>Plano muro 1 cocina restaurante nivel 3.</i>	34
Figura 9. <i>Modelo preliminar del proceso constructivo de la mampostería para una cuadrilla 1:1.</i>	36
Figura 10. <i>Porcentaje del tiempo invertido por el oficial de la cuadrilla 1.</i>	38
Figura 11. <i>Porcentaje del tiempo invertido por el ayudante de la cuadrilla 1.</i>	38
Figura 12. <i>Porcentaje del tiempo invertido del oficial 1 de la cuadrilla 6</i>	38
Figura 13. <i>Porcentaje del tiempo invertido del oficial 2 de la cuadrilla 6</i>	39
Figura 14. <i>Porcentaje del tiempo invertido del oficial 2 de la cuadrilla 6</i>	39

Lista de Tablas

Tabla 1. *Filtros y publicaciones encontradas en la BD de SCOPUS por SciVal*27

Tabla 2. *Metodología del estudio y relación con el caso de estudio*32

Tabla de Apéndices

Apéndice A. Caracterización de la mampostería	48
Apéndice B. Herramientas empleadas en el proceso constructivo de la mampostería.	49
Apéndice C. Formato de recopilación de información de la revisión sistemática.	53
Apéndice D. Fases DMAIC y las herramientas planteadas para el caso de estudio	54
Apéndice E. Planteamiento preliminar de actividades, tareas y labores del proceso constructivo de la mampostería.	56
Apéndice F. Formato para consolidar la información recolectada en campo.	57
Apéndice G. Actividades, tareas y labores observadas en el muro 1.....	57
Apéndice H. Actividades, tareas y labores observadas en el muro 5, 6, 7 y 8.....	60
Apéndice I. Modelo cuadrilla 1:1 Colocación de mampuestos tradicional.....	61
Apéndice J. Modelo cuadrilla 1:1 Colocación de mampuestos estampillados	62
Apéndice K. Modelo cuadrilla 1:1 Colocación de mampuestos tradicional e instalación de refuerzo longitudinal.....	63
Apéndice L. Clasificación de las labores improductivas.	64

Resumen

Título: Pasantía de Investigación Metodología para el mejoramiento del proceso constructivo de la colocación de mampostería basado en los principios y herramientas de Lean Six-Sigma para empresas constructoras del Área Metropolitana de Bucaramanga*

Autor: Laura Nathalia Lozano Reyes**

Palabras Clave: Lean Construction, Six Sigma, Lean Six Sigma, Productividad, Mampostería.

Descripción: La industria de la construcción frecuentemente es cuestionada por la ineficiente ejecución de sus proyectos, presentando demoras, sobrecostos y desperdicios, que afectan la productividad y la rentabilidad. Hoy en día se cuenta con propuestas metodológicas que buscan mejorar la productividad. Lean Construction y Six Sigma ofrecen varias herramientas que logran minimizar estos problemas, además de generar valor agregado en los procesos. En este estudio se utilizó la metodología de investigación basada en el diseño (Design Science Research) con el fin de proponer un modelo de mejoramiento con base en la implementación de Lean Six Sigma en el proceso constructivo de la mampostería. Para ello se hizo un análisis de necesidades en el proceso, se definió como objetivo identificar las tareas tipo y se aplicó la herramienta Lean denominada gestión visual (Visual Management) para identificar las tareas y labores por medio de un registro audiovisual durante dos semanas de trabajo, se determinaron las labores no productivas que afectan los rendimientos de la cuadrilla tipo de mampostería y finalmente se planteó una metodología a seguir en el caso de estudio basada en DMAIC.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar. PhD en Gerencia de Proyectos de Construcción

Abstract

Title: Research Internship Methodology for the improvement of the construction process of the placement of masonry based on the principles and tools of Lean Six Sigma for construction companies of the metropolitan area of Bucaramanga. *

Author: Laura Nathalia Lozano Reyes**

Key Words: Lean Construction, Six Sigma, Lean Six Sigma, Productivity, Masonry.

Description: The construction industry is frequently questioned for the inefficient execution of its projects, presenting delays, cost overruns and waste, which prosper productivity and profitability. Nowadays there are methodological proposals that seek to improve productivity. Lean Construction and Six Sigma offer several tools that manage to minimize these problems, in addition to generating added value in the processes. In this study, the design-based research methodology (Design Science Research) was improved, in order to, propose an improvement model based on the implementation of Lean Six Sigma in the masonry construction process. For this, an analysis of needs was made in the process, the objective was defined to identify the type tasks and the Lean tool called visual management (Visual Management) was applied to identify the tasks and tasks through an audiovisual record two work weeks, the non-productive tasks were determined, which improved the yields of the masonry type crew and finally a methodology to be followed in the case study based on DMAIC was proposed.

* Degree Work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Guillermo Mejia Aguilar. PhD in Construction Project Management

Introducción

El sector de la construcción brinda un importante aporte a la economía de Colombia. Es uno de los sectores económicos que contribuye a la creación de bienes y servicios que buscan satisfacer las necesidades humanas contribuyendo a la creación de una mejor calidad de vida en sus habitantes (Sarmiento & Rincón, 2020). No obstante, Colombia cuenta con niveles bajos de productividad y está por debajo del promedio en la implementación de buenas prácticas, según un estudio de Camacol y McKinsey realizado a catorce empresas colombianas destacadas en el sector de la construcción (CAMACOL & McKinsey, 2018). Lo anterior evidencia la necesidad de aplicar mejoras con el fin de aumentar la productividad de este sector y así lograr el fortalecimiento de la productividad en el país.

La industria de la construcción frecuentemente es cuestionada por la ineficiente ejecución de sus proyectos, presentando demoras, sobre costos y desperdicios, que afectan la productividad y rentabilidad. Según un estudio realizado por Flavio Picchi en 1993, los proyectos pueden presentar desperdicios en sus procesos constructivos, que pueden representar hasta un 30% del costo total de la obra, como es el caso del proceso de mampostería en ladrillo de arcilla cocida (Orihuela & Orihuela, n.d.). Hoy en día se cuentan con propuestas metodológicas que buscan mejorar la productividad. Lean Construction y Six Sigma ofrecen varias herramientas que logran mitigar estos problemas, minimizando costos, pérdidas y demoras, además de generar valor agregado en los procesos, mejorando los niveles de productividad (Alarcón Cárdenas & Pellicer Armiñana, 2009).

Para contrarrestar las pérdidas por desperdicios, la variabilidad en los proyectos de construcción, y maximizar el valor entregado a los propietarios de los proyectos y clientes de estos, surge Lean Six-Sigma. Con base en ella se han realizado estudios de caso, dentro de los cuales se

encuentran proyectos de reestructuración de soldaduras (Anderson & Kovach, 2014) y mejoras en el proceso de mampostería en edificaciones en Bogotá (Cuervo & Sampayo, 2017) que demostraron aumento de la productividad y ganancias financieras.

De acuerdo a estos antecedentes, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué aportes puede brindar la implementación de Lean Six Sigma en las empresas constructoras del área metropolitana de Bucaramanga? Por ello, la presente propuesta tuvo como objetivo principal diseñar una metodología para el mejoramiento del proceso constructivo de la colocación de mampostería basado en los principios y herramientas de Lean Six-Sigma, para aplicar en las empresas constructoras del Área Metropolitana de Bucaramanga. De manera específica el estudio a) identificó las tareas tipo del proceso constructivo de la colocación de mampostería, analizando obras de construcción que se realizan en el Área Metropolitana de Bucaramanga; y b) se propuso acciones de mejoramiento del proceso observado, aplicando las herramientas de Lean Six-Sigma.

El alcance del presente estudio se limitó a la propuesta de mejoramiento del proceso, la cual fue validada con los profesionales de obra, pero no se incluye la implementación y su análisis, por la limitante del tiempo de observación de la práctica en investigación.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar una metodología para el mejoramiento del proceso constructivo de la colocación de mampostería, basado en los principios y herramientas de Lean Six Sigma, aplicable a empresas constructoras del Área Metropolitana de Bucaramanga.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar las tareas tipo del proceso constructivo de la colocación de mampostería, analizando obras de construcción que se realizan en el Área Metropolitana de Bucaramanga.
- Proponer acciones de mejoramiento del proceso observado, aplicando las herramientas de Lean Six-Sigma.

2. Marco Teórico

2.1 Lean Construction

El Instituto Nacional Lean Construction Colombia define Lean como una filosofía implementada en gestión, que está compuesta por un conjunto de conceptos, principios y herramientas que permiten maximizar el valor entregado al cliente, utilizando la mínima cantidad de recursos, eliminando los desperdicios y aprovechando los conocimientos y capacidades del equipo de trabajo que conforma el proyecto. (LC, n.d.)

Toyota Motor Corporation fue una empresa capaz de construir un modelo a largo plazo recurriendo a la corresponsabilidad ética de todos y cada uno de sus agentes vinculados, enfocados en la mejora continua, garantizando información adecuada, procesos aptos y estandarizados y una carga de trabajo nivelada. Este modelo denominado Toyota Production System o TPS logró un gran éxito y se cree que la causa son catorce principios implementados (de Diego et al., 2009), más adelante fue ampliamente documentado hasta plantear el modelo Lean, que ha sido puesto en marcha por diferentes empresas.

Hubo 3 tipos de eventos que el sistema de producción de Toyota intentó evitar y hacen parte de la filosofía de las 3M (Carrizales et al., 2016), se denominan:

- Muri (Requerimiento): Todo aquellas labores o cargas que ejercen demasiada presión sobre los trabajadores o máquinas. Además, contempla la eliminación de los movimientos desgastantes.

- Mura (Inconsistencia): Todo aquello que crea flujos de trabajo inconsistentes e ineficientes. Que a su vez ocasionan variabilidad en el proceso y alteran el tiempo de ciclo.
- Muda (Desperdicio): Todo quello que genera desperdicios, causa restricciones en el proceso de fabricación, no genera valor y debe ser eliminado.

Dentro del componente definido como Muda, Waste, Despilfarro, Desechos o Desperdicio, existen 8 tipos y Lean propone trabajar en su eliminación (Lezana Pérez, Emilio Achell Pons, 2014), los cuales son:

1. Sobreproducción
2. Tiempo de espera o inactividad
3. Transporte innecesario
4. Sobreprocesamiento
5. Exceso de inventario
6. Movimientos innecesarios
7. Defectos de calidad
8. Desperdicio del talento

Además, Lean cuenta con cinco principios que deben ser considerados en la toma de decisiones y aplicados con cada una de sus herramientas (Rivera Cadavid, 2013), que son:

- Valor (Value): una empresa entrega el producto con el mayor valor esperado por los clientes.
- Flujo de valor (Value Stream): mapeo los pasos y procesos necesarios para garantizar la cadena de valor en el proceso.

- Flujo continuo (Flow): garantía del flujo continuo, sin interrupción de los pasos del proceso que agregan valor a la entrega final. De este principio surge el término One piece flow, que se refiere al tratamiento de una pieza a la vez.
- Requerimiento del cliente (Customer Pull): fabrica de los productos "justo a tiempo" para evitar el almacenamiento de los materiales y reducir los tiempos de entrega.
- Mejoramiento continuo (Perfection): implementación del pensamiento Lean y la mejora continua de procesos. Este principio implica una constante disciplina que respalde el mejoramiento continuo de la empresa.

Los avances tecnológicos y sistemas productivos a nivel global entraron en un cambio, que inició en el sector del automovil trayendo consigo la implementación de Lean Manufacturing y que más adelante fue adaptandose a otras industrias y sectores. En 1992 Koskela llega con una nueva propuesta aplicada en la denominado Lean Construction. (Koskela, 1992) Esta filosofía se ha venido manifestando desde el 2007, principalmente en Estados Unidos donde ha reflejado altos niveles de rendimiento, reducción de costos, incremento de la productividad, reducción de tiempos de entrega, aumento de la calidad y la seguridad, mejor manejo de los riesgos y un mayor grado de satisfacción por parte de los clientes. (Lezana Pérez, Emilio Achell Pons, 2014)

La filosofía Lean Construction cuenta con dos importantes pilares bases para su aplicación, que son: Just-in-Time (JIT), que consiste en la optimización de la producción al entregar lo necesario, cuando se necesita y en las cantidades requeridas. En el se incluye el control del inventario y la sobreproducción. El segundo pilar es el Jidoka, cuyo objetivo principal es la autonomización o automatización en detección de anomalías y deficiencias en maquinaria y operarios, a fin de controlarlas y corregirlas inmediatamente. (Lezana Pérez, Emilio Achell Pons, 2014)

La implementación de Lean Construction el sector de la construcción trae consigo un cambio en el pensamiento tradicional del trabajo, por medio de sistemas de gestión innovadores que se fundamentan en el análisis de las pérdidas, promueven la planificación de actividades y eliminan las actividades que no aportan al resultado de la obra con el fin de mejorar la productividad. (Rojas López et al., 2017)

2.2 Herramientas Lean Construction

Para su aplicación Lean Construction cuenta con diferentes herramientas que pueden ser empleadas en las fases de un proyecto de construcción. Entre ellas están: Sistema del último planificador, Manejo visual, Sistemas 5s, Justo a tiempo, Kanbans, Procesos de operación estándar.

El Sistema del Último Planificador o Last Planner System (LPS) es un sistema de control, planificación y producción aplicado a proyectos de construcción, mediante la participación de todos los miembros del proyecto para programar a largo plazo (Plan Maestro), mediano plazo (Plan Intermedio o Plan Anticipado) y corto plazo (Plan Semanal). (Hamzeh, 2015)

El Manejo visual o Visual Management (VM) es una estrategia que permite controlar diferentes aspectos de la organización, medición y mejora, a través de medios audiovisuales, con los cuales se puede exteriorizar información y mejorar la comunicación en el lugar de trabajo (Brady et al., 2018).

El Sistemas 5s tiene como objetivo principal la mejora continua de los procesos administrativos lean, reduciendo desperdicios y optimizando la productividad hasta obtener resultados consistentes (Houa et al., 2018). Su implementación requiere de cinco pasos:

- Seiri (organización) consiste en mantener sólo los elementos necesarios y esenciales.
- Seiton (orden) mantener los elementos y herramientas fácilmente alcanzables.

- Seiso (limpieza) acción preventiva que permite detectar problemas asegurando óptimas condiciones.
- Seiketsu (estandarizar) lograr que cada miembro establezca las mejores prácticas.
- Shitsuke (disciplina) una forma de lograr que el sistema se complete de manera formidable.

El Justo a tiempo o Just in Time (JIT) tiene como objetivo principal suministrar los materiales indicados y en la cantidad necesaria para cada una de las etapas del proceso. Se caracteriza por reducir el tiempo implementado para realizar el inventario y tiempo en espera. Estudios de manejo logístico demuestran un incremento sustancial en la productividad con su implementación (Rauch et al., 2015).

El Mapeo del flujo de valor o Value Stream Mapping (VSM) permite representar visualmente el proceso en términos de flujo físico de materiales, el valor generado, la calidad y el tiempo de entrega en cada una de sus etapas (Alaa et al., 2018). Para su implementación se elabora una representación del estado actual, que debe ser analizando y con base en las fuentes de residuos y las actividades que no agregan valor, se establece un diagnóstico del proceso (Rosenbaum et al., 2014). La información requerida para la construcción de un VSM está determinada por el flujo de material de los proveedores a los clientes y el flujo de información de los clientes a los proveedores, en los siguientes pasos se establece la secuencia en detalle considerada para su implementación (Pavnaskar & Gershenson, 2016): Seleccionar el alcance del mapeo, mapa del estado actual, mapa del estado futuro, plan de implementación.

El Kanban puede llegar a facilitar el aprendizaje en trabajadores de un nuevo proceso constructivo, como por ejemplo, la elaboración de morteros para construcción de mampostería estructural (Barreto & Heineck, n.d.).

Los Procesos operacionales estandar (SOP) son un conjunto de instrucciones, que regulan los procesos administrativos, enlazando y promoviendo la interacción de las partes involucradas, para identificar las tareas y compromisos de una forma más acertada. SOP se caracteriza por brindar un importante aporte a la gestión de calidad al reducir los errores en la ejecución de los procedimientos, fortaleciendo la eficiencia y mitigando la incertidumbre del proceso. (Machfudiyanto et al., 2018)

El Poka-yoke (Mistake Proofing) es un proceso mediante el cual los empleados trabajan para identificar y eliminar las causas de los errores humanos a lo largo de los procesos de fabricación y producción. Su nombre es un término japonés que significa prueba de errores. Su implementación evita la fabricación de productos defectuosos. Esta técnica ha sido probada con éxito en la construcción llevando a considerar que los defectos no forman parte de los procesos de fabricación o construcción. (Lezana Pérez, Emilio Achell Pons, 2014)

2.3 Six Sigma

Six sigma es un proceso basado en datos que busca reducir los defectos hasta obtener el 99,99966% de los productos sin defectos, entregando al cliente productos cercanos a la perfección. Esta estructura organizada puede ser aplicada a una organización sin que altere su operación para reducir la variación de sus procesos, por medio de la participación de especialistas en mejora, un método estructurado y métricas de desempeño con el fin de alcanzar los objetivos estratégicos. (Schroeder et al., 2008)

Los proyectos que adoptan la metodología Six Sigma establecen cinco fases, cada una cuenta con un propósito definido y con técnicas y herramientas específicas, estas fases a su vez pueden estar configuradas de dos formas diferentes denominadas DMAIC y DMADV según las necesidades del proyecto, la primera configuración puede ser útil para mejorar los procesos

actuales, mientras que DMADV se usa para desarrollar un nuevo proceso, producto o servicio. (Selvi & Majumdar, 2014)

DMAIC cuenta con cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. (Gutiérrez & De la Vara, 2009; Selvi & Majumdar, 2014)

Definir: Esta etapa se identifican los detalles del caso o proceso, sus problemas y objetivos, el alcance del proyecto, hitos y roles. Además, se determinan las necesidades del cliente o partes interesadas, sus requisitos y se identifican los métodos para recopilar información del cliente. Y finalmente, se hace un mapeo de los procesos y se define la conexión cliente-proceso. A partir de esta información se construye el marco del proyecto que orientará al equipo de trabajo.

Medir: El objetivo de esta fase es definir los estándares de rendimiento según las necesidades del cliente, se desarrolla el plan para la recopilación de datos, se hace la recopilación de datos y validación del sistema de medición, con el fin de establecer una línea base de medición. Esta fase permite comprender y cuantificar la magnitud del problema o situación que se aborda con el proceso.

Analizar: Dentro de los pasos involucrados en esta fase se encuentran: examinar el valor en cada paso del proceso, inspeccionar los datos recopilados y transformarlos en graficas de fácil visualización, para compartirlos en las reuniones de lluvias de ideas. Y finalmente, se hace un análisis consolidado de la causa del problema.

Mejorar: Esta fase tiene como objetivo proponer e implementar diferentes alternativas de solución que atiendan las causas raíz mencionadas en la fase anterior y verificar que su aplicación corrija o reduzca el problema. Una vez generadas las soluciones se establece su prioridad y se aplican las de mayor conveniencia al proceso. Estas soluciones deberán ser comunicadas a las

partes interesadas, a su vez que se crea un mapa de procesos y se crea un plan de alto nivel para implementar un piloto.

Controlar: El objetivo de esta etapa es desarrollar métricas que faciliten el monitoreo y permitan documentar el éxito continuo. Para mantener los logros obtenidos con la etapa de mejora. Además, se incluye una gestión de procesos que estandarice el proceso, documente el plan de control y monitoree el proceso.

La estructura DMADV (Selvi & Majumdar, 2014), está determinada por las fases Definir, Medir, Analizar, Diseñar, Verificar y que describen a continuación:

Definir: En esta etapa los líderes del proyecto identifican los deseos y necesidades de los clientes que se identifican a través de información histórica, comentarios y otras fuentes de información. Los equipos se ensamblan para impulsar el proceso y las métricas y pruebas se desarrollan alineadas a la información del cliente.

Medir: La segunda parte del proceso utiliza las métricas definidas, recopila datos y registra especificaciones que permitan impulsar el resto de la metodología.

Análisis: En esta fase el resultado del proceso de fabricación (proceso, producto o servicio) es probado por los equipos internos para crear una línea de base de mejora. Los líderes usan datos para identificar áreas de ajuste que traerá mejoras de calidad.

Diseño: El objetivo de esta fase es comparar los resultados obtenidos de las pruebas internas con los resultados requeridos por el cliente. En ella se realizan los ajustes necesarios. Además, en esta etapa se prueba el proceso de fabricación mejorado y los clientes de prueba hacen las sugerencias necesarias antes de que el producto o servicio final esté al alcance del cliente o los interesados.

Verificación: Es la última etapa de la metodología y consiste en recolectar los comentarios y sugerencias realizadas por los clientes de prueba, con el fin de ajustar los procesos antes de sacar el producto final.

2.4 Lean Six Sigma

A partir del siglo XXI la búsqueda de mejoras en las empresas, en los procesos, y en los productos entregados a los clientes ha venido en aumento debido a la amplia competencia en el mercado. Con base en lo anterior han surgido diferentes herramientas y metodologías, dentro de ellas se encuentra la fusión de las filosofías Lean y Six Sigma, que dio como resultado a Lean Six Sigma una forma interesante de trabajo, enfocada en la mejora continua y el óptimo aprovechamiento de los recursos. Es importante reconocer que la filosofía Lean y Six Sigma siempre han compartido un objetivo común que es la satisfacción de los clientes, sin embargo, cuentan con desarrollos, enfoques y herramientas diferentes.

La filosofía Lean busca eliminar las ineficiencias de los procesos y reestructurarlos para aumentar su eficiencia, rapidez y agilidad a la hora de responder a las necesidades de los clientes, mientras que Six Sigma persigue mejorar los procesos en un sentido más amplio que incluye calidad, eficiencia y niveles de servicio. Metodológicamente es más ordenada y hace uso extensivo de los datos para entender el comportamiento de los procesos e identificar las mejoras. (Socconini & Escobedo, 2021)

De este modo Lean Six Sigma combina la estructura metodológica y las herramientas de análisis de datos de Six Sigma con las herramientas de proceso y principios Lean.

Lean Six Sigma cuenta con una serie de herramientas para la aplicación de cada una de sus etapas dentro de las cuales se pueden encontrar: The 5 Whys, Value Stream Mapping, Regression Analysis, FMEA, Kaizen, Poka-yoke, 5s sistem. (*Six Sigma Digest*, n.d.)

Los 5 whys o porqués es una herramienta planteada por el TPS y viene siendo muy utilizada en Lean Six Sigma para determinar la causa raíz de los problemas dentro de las organizaciones. Es comúnmente implementada en la fase de análisis DMAIC (Murugaiah et al., 2010; Ohno, 1988).

Los 5 porqués funcionan de la siguiente forma:

- **Primer porqué:** Describa y explique el problema a todo su equipo de trabajo y garantice que todos estén enfocados en él.
- **Segundo porqué:** Pregunte por la causa del problema.
- **Tercer porqué:** Si su respuesta anterior no es la raíz del problema, vuelva a preguntar por qué.
- **Cuarto porqué:** Si su respuesta anterior no es la raíz del problema, vuelva a preguntar por qué.
- **Quinto porqué:** Si su primera respuesta anterior no es la raíz del problema, vuelva a preguntar por qué. La respuesta a esta última pregunta garantizará tener la claridad suficiente para identificar cual es la verdadera causa raíz del problema.

Value Stream Mapping, es otra herramienta de Lean utilizada en la fase de análisis del ciclo DMAIC de Lean Six Sigma. Este mapa permite mostrar el flujo de materiales e información en uno de sus procesos y fue desarrollado para ayudarlo a mejorar y optimizar el flujo en toda su organización. (Li & Fernandez, 2013) Hay 3 cosas que el mapeo del flujo de valor te ayuda a identificar: Actividades generadoras de valor, Actividades de valor añadido y Actividades que no agregan valor.

A partir de observaciones realizadas por diferentes investigadores en la construcción, se han venido aportando y estudiando nuevas clasificaciones y terminología utilizada para la clasificación del trabajo y la ocupación del tiempo de los trabajadores, en sectores complejos como

lo es el sector de la construcción. Dentro de ellos se encuentra Serpell, quien realiza una clasificación de los trabajos ejecutados, ubicándolos en trabajo productivo, contributivo y no contributivo (SERPELL BLEY, 2002) y se caracterizan por:

- **Trabajo Productivo (TP):** Corresponde a las actividades que aportan en forma directa a la producción de alguna unidad de construcción.
- **Trabajo Contributivo (TC):** En esta categoría se considera el trabajo de apoyo, necesario para dar continuidad al trabajo productivo, pero que no aporta valor a la unidad de construcción. Es considerado una pérdida de segunda categoría y se debe minimizar al máximo posible para mejorar la productividad.
- **Trabajo No Contributivo (TNC):** En él se incluye cualquier actividad realizada por el trabajador no aporta valor al proceso o entregable final, es innecesaria y su ejecución tiene un costo material, en el tiempo o monetario.

Análisis de regresión lineal, es un proceso estadístico para estimar y comprender la correlación entre variables. Se usa para definir la relación matemática entre una variable de salida (y) y cualquier número de variables de entrada (x1, x2, etc.). Graficar estas entradas y salidas lo ayuda a visualizar patrones o desviaciones de los patrones deseados en su flujo de trabajo. (Baños et al., 2019)

Diagrama de Pareto, esta herramienta estadística muestra gráficamente las diferencias entre grupos de datos, lo que permite a los equipos de Lean Six Sigma identificar los problemas más importantes que enfrenta el proceso.

El eje y representa un porcentaje acumulativo y una frecuencia de defectos, mientras que el eje x representa los grupos de variables de respuesta que se muestran como barras, como el diseño de la máquina o las piezas de la máquina.

Este gráfico a menudo se alaba como una de las herramientas más importantes en la caja de herramientas Lean Six Sigma para ayudar a los equipos a descubrir el 20 % de las fuentes que causan el 80 % de los problemas en sus procesos. (Borjas & Manuel, 2005; VALVERDE PINGO & REYES RUBIO, 2021)

FMEA, es un análisis de efectos y modos de falla (FMEA) ayuda a las empresas a identificar y eliminar los puntos débiles en las primeras etapas de cualquier producto o proceso. Desarrollado en la década de 1950, FMEA se usa para revisar componentes, ensamblajes y subsistemas para identificar modos de falla y sus causas y efectos. (Bouti & Ati Kadi, 1994)

Los practicantes de Lean Six Sigma utilizan FMEA para mejorar la calidad de sus procesos, servicios y productos mediante la detección y solución de problemas antes de que ocurran.

2.5 Mampostería

La normativa vigente enfocada en el proceso constructivo de la mampostería son los Títulos D y E del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). El Título D hace una caracterización de los tipos de mampostería y su uso según los requerimientos o la capacidad sísmica de la zona, focalizada especialmente en el ámbito estructural. Mientras que el Título E está orientado a la construcción de viviendas de uno y dos pisos. (Sísmica, 2010)

Por otra parte, se cuenta con especificaciones técnicas de la Norma Técnica Colombia NTC que garantizan las características técnicas de cada uno de los componentes e insumos implementados en el construcción de mampostería. La NTC 4205 que brindan información sobre características técnicas de los mampuestos según su perforación, colocación (vertical u horizontal) y su uso de acuerdo a su capacidad de soporte o exposición a los factores ambientales. También se cuenta con las normas NTC 3329 y la NTC 3356 que contienen las características de los morteros empleados en la construcción de mampostería de acuerdo con su uso y dosificaciones y resistencia

a la comprensión. (*Normas Técnicas Colombianas NTC*, 2009) En esta investigación se desarrolló un esquema que contiene una caracterización de la mampostería según su estructura, tipo de ladrillo o mampuesto, tipo de aparejo, tipo de mortero y rendimientos según algunos autores (ver Apéndice A)

Para la correcta ejecución del proceso constructivo de la mampostería se debe contar con los insumos necesarios y en las proporciones requeridas, además de los implementos de protección y las herramientas empleadas en la nivelación, en el emparejo de los mampuestos y la preparación del mortero (ver Apéndice B)

2.6 Pérdidas en Proyectos de Construcción

En lo que consierne a las pérdidas Lean consideraba 7 desperdicios que causaban las interrupciones dentro del flujo de valor en una planta de producción. Más adelante llegaron a ser 8 luego de identificar que existía un desperdicio de talento y falta de creatividad. A continuación se describen cada uno de los desperdicios que se pueden presentar en la construcción (Lezana Pérez, Emilio Achell Pons, 2014):

- **Sobreproducción:** Hace referencia a la producción de cantidades más grandes a las requeridas o más pronto de lo necesario.
- **Esperas o tiempo de inactividad:** En esta clasificación se encuentran los tiempos de espera, interrupciones del trabajo o el tiempo de inactividad debido a la falta de datos o información, especificaciones u órdenes, planos, y materiales; esperas por actividad precedente; tiempos de espera por falta de equipos, retraso en el transporte o instalación de equipos; esperas por área de trabajo inaccesible; esperas por accidentes ocasionados por la falta de seguridad; esperas por repetición del trabajo debido a cambios en el diseño, contradicciones en los documentos de diseño,

interacción entre especialistas, falta de coordinación entre las cuadrillas, revisiones y aprobaciones.

- **Transporte innecesario:** Se refiere al transporte innecesario relacionado con el movimiento interno de los recursos (materiales, datos, etc.) en la obra. Suele estar relacionado con la mala distribución y la falta de información o planificación de los flujos de materiales. Sus principales consecuencias son: pérdida de horas de trabajo, energía, espacio en la obra y material durante el transporte.
- **Sobreprocesamiento:** En este término se incluyen los procesos adicionales en la construcción o instalación de elementos que causan el uso excesivo de materia prima, equipos, energía, etc. También se incluyen en esta categoría las inspecciones excesivas o inspecciones duplicadas.
- **Exceso de inventario:** Se refiere a los inventarios excesivos, innecesarios o antes de tiempo, que pueden conducir a pérdidas de material (por deterioro, obsolescencia, stock inadecuado, robo u otros incidentes), personal adicional para gestionar el exceso de material y costes financieros por la compra anticipada.
- **Movimientos innecesarios:** En esta categoría se incluyen los movimientos innecesarios o ineficientes realizados por los trabajadores durante su operación. Esto puede ser causado por la utilización de equipo inadecuado, métodos de trabajo ineficaces, falta de estandarización o mal acondicionamiento del lugar de trabajo y conlleva a pérdida de tiempo y bajas laborales.
- **Defectos de calidad:** Hace referencia a los errores en el diseño, mediciones o planos; que pueden ser ocasionados por fallas en la comunicación, el desajuste entre planos de diferentes dependencias, uso de métodos de trabajo incorrectos o mano

de obra poco cualificada. Y sus principales consecuencias son: la repetición del trabajo y la insatisfacción del cliente.

- **Talento:** Hace alusión al desaprovechamiento de ideas, aptitudes, mejoras y nuevas tecnologías, que son aportadas por instituciones públicas, otros especialistas, e incluso los trabajadores de los bajos niveles jerárquicos en la empresa, y pueden ser implementadas en el mejoramiento interno de la empresa o del proceso, para lograr altos rendimientos. Así mismo, puede hacer referencia a: la falta de motivación, mano de obra no cualificada, estímulos a los trabajadores, resolución de problemas o recursos para la mejora continua.

Un estudio realizado por el Construction Industry Institute y el Lean Construction Institute en el 2004 indica que hasta el 57% del esfuerzo, tiempo y material de la inversión en proyectos de construcción no añade valor al producto final, mientras que en la industria de la fabricación la cifra es solo del 26%. (Lezana Pérez, Emilio Achell Pons, 2014)

Se consideran pérdidas en proyectos de construcción, todo lo que sea distinto de los recursos mínimos absolutos de materiales, máquinas y mano de obra necesarios para agregar valor al producto (Fernando et al., 2003).

La medición del desempeño actual del sistema de producción se convierte en punto de partida en la implementación de cualquier sistema de mejoramiento. La identificación de pérdidas en la construcción, a través de sencillas técnicas, como muestreo de trabajo (Araque Gonzales, 2010). Encuestas de demoras y cartas de balance de cuadrillas, han sido utilizadas como medida indirecta de la productividad, ya que se asume que al identificar las categorías y causas de las pérdidas en la construcción y reducirlas, se incrementa la productividad (Añazco Campoverde & Sánchez Buri, 2010).

3. Estado del Arte de Lean Six Sigma

Al iniciar con la implementación de este enfoque se procedió a identificar el vacío investigativo dentro del tema de interés. Para lograrlo, se hizo uso de una revisión sistemática a partir de la pregunta de investigación: ¿Qué aportes puede brindar la implementación de Lean Six Sigma en las empresas constructoras del área metropolitana de Bucaramanga?

Con la pregunta planteada y las herramientas bibliométricas como SCOPUS, que permiten evaluar, analizar y comparar los indicadores científicos, se procedió a plantear una ecuación de búsqueda TITLE-ABS-KEY ("Lean six sigma" AND "construction industry"). Adicionalmente, se aplicó un filtro de tiempo con un rango entre el 2015 y 2019, donde surgieron 20 artículos, de los cuales se organizaron de manera tabular con la siguiente información: Autores, título, título de la fuente, año, DOI, link, palabras claves del autor, palabras indexadas y el resumen. Luego, se identificaron los tipos de documento y se hizo lectura de los más apropiados para la investigación. (Ver Apéndice C)

Complementariamente, se empleó la herramienta bibliométrica SciVal, la cual permitió analizar y comparar los términos más relevantes en la base de datos Scopus. Una primera mirada al número de publicaciones por dominio del conocimiento nos muestra que el tema tiene cierto interés dentro de la comunidad académica (ver Tabla 1).

Tabla 1.

Filtros y publicaciones encontradas en la BD de SCOPUS por SciVal

Dominio del Conocimiento	No de Publicaciones
Civil and Structural Engineering	290.980
Building and construction	168.345
Architecture	46.416

Una vez identificado el interés por cada uno de los dominios del conocimiento, se aplicaron filtros por temporalidad, entre el 2015 y 2019, lo cual posibilitaron la creación de una nube de palabras y una gráfica de frecuencia de las palabras clave que extraen las 50 frases claves.

En el dominio disciplinar de Civil and Structural Engineering (ver Figura 1 y Figura 2) se observó que los temas relacionados con lean six sigma se centraron más en los procesos relacionados con el concreto reforzado, que con los procesos relacionados con mampostería.

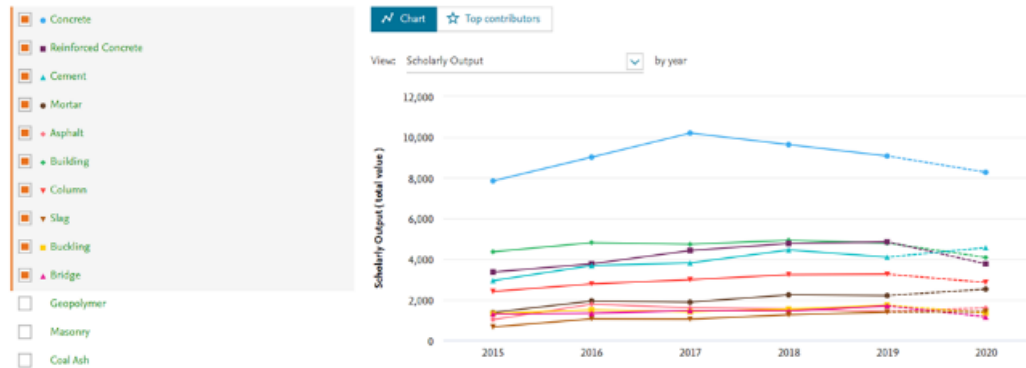
Figura 1.

Nube de palabras de SciVal generada aplicando filtro por el área Civil and Structural Engineering.



Figura 4.

Gráfica de frecuencia de frases claves o Keyphrases vs tiempo de SciVal generada aplicando filtro por el área Building and construction.



Finalmente, el dominio disciplinar Architecture (ver Figura 5 y Figura 6) muestra igual comportamiento que los dominios anteriores, pero se puede apreciar que con relación al tema de mampostería muestra un mayor interés académico, con base en el comportamiento de sus publicaciones.

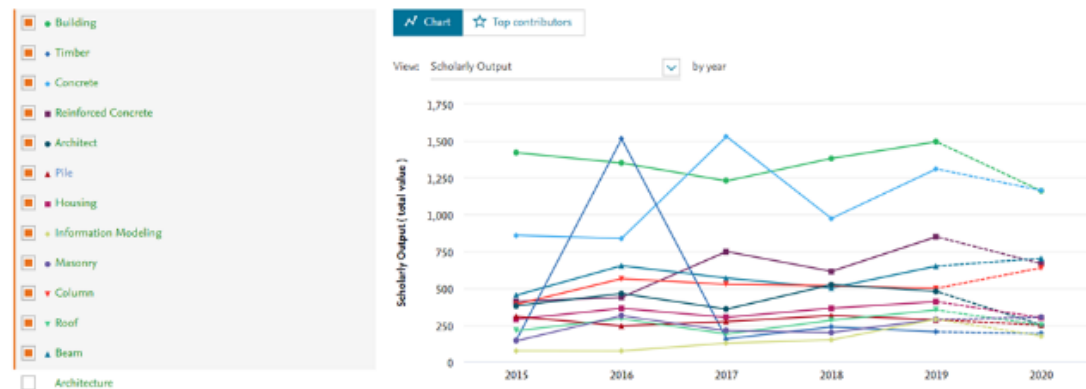
Figura 5.

Nube de palabras de SciVal generada aplicando filtro por el área Architecture.



Figura 6.

Gráfica de frecuencia de frases claves o Keyphrases vs tiempo de SciVal generada aplicando filtro por el área Architecture.



En resumen, se evidenció que en cada una de las áreas disciplinares la presencia de la palabra clave *Masonry* (mampostería), lo cual nos permite reforzar nuestra línea de investigación en la propuesta de investigación del presente estudio.

4. Metodología

La presente investigación adoptó la metodología de investigación basada en el diseño (Design Science Research –DSR, por sus siglas en inglés), la cual se ajustó al objetivo de proponer un modelo de mejoramiento con base en la implementación de Lean Six Sigma en la Construcción. Adicionalmente, se seleccionó una obra en construcción, como caso de estudio, para realizar las observaciones y validación con el personal de obra.

La investigación basada en el diseño es apropiada para generar y mejorar buenas prácticas en las obras y proyectos. Se debe realizar un análisis iterativo de los procesos; luego, se propone

un diseño o mejoramiento del proceso observado; posteriormente se planifica su implementación, soportada por la colaboración entre investigadores y profesionales en entornos del mundo real (Wang & Hannafin, 2005).

La Tabla 2 muestra los pasos de la metodología propuesta y su relación con el caso de estudio.

Tabla 2.

Metodología del estudio y relación con el caso de estudio

Etapa	Descripción-Tareas	Caso de Estudio [Obra observada]
1. Identificación del problema	Análisis de necesidades e identificación del problema.	Proceso constructivo: Muros en mampostería de arcilla cocida H-10
2. Objetivos del proceso de mejoramiento Lean Six Sigma	Definición de objetivos que llevarán a la solución del problema	Identificar las tareas y labores, para clasificarlas, e identificar aquellas que puedan eliminarse
3. Diseño y desarrollo	Análisis-definición de criterios de diseño. Desarrollo del prototipo (MM). Comprobación de los criterios de diseño.	Selección de la técnica de <i>lean management</i> o <i>lean six sigma</i> apropiada para el objetivo del análisis en obra Levantamiento del estado actual del proceso Propuesta de mejoramiento del proceso
4. Implementación y evaluación del prototipo	Evaluación del prototipo por profesionales en ejercicio. Ajuste del prototipo	Validación de la propuesta de mejoramiento Implementación Evaluación del proceso implementado

Para nuestro caso, se propuso un flujo de procesos para la medición en obra del sistema de control por valor ganado en proyectos de construcción, especialmente dentro del contexto del área metropolitana de Bucaramanga, Colombia.

Se identificó un proceso-problema, que requería de mejoramiento para aumentar sus indicadores de desempeño, ya sea expresados como productividad, rendimiento o producción. Se

procedió a realizar un levantamiento inicial del proceso-problema a intervenir, para comprenderlo, desarrollar una solución, recolectar los datos necesarios para su comprobación, implementar la solución, evaluar la utilidad de la solución y finalmente, evaluar la contribución teórica de la solución como una buena práctica.

4.1 Caso de Estudio

La obra seleccionada fue un edificio que consta de cuatro niveles y un sótano y cuenta con un área construida de 5700 m². Esta obra se encuentra ubicada en la carrera 27 # 9 en el Barrio la Universidad, Bucaramanga, específicamente en el antiguo edificio del CEIAM, dentro del Campus Principal de la Universidad Industrial de Santander.

Se hizo la solicitud de información de la obra, tal como planos y APU de la actividad de Mampostería en ladrillos H-10, para realizar medición de la productividad del proceso. Pero solo se pudo obtener los planos previos con fecha de marzo 2021 por motivos de confidencialidad empresarial. Las zonas del edificio donde se hicieron las observaciones del proceso se describen en Figura 7 y Figura 8.

Figura 7.

Plano muros 5 al 11 cocina restaurante nivel 3.

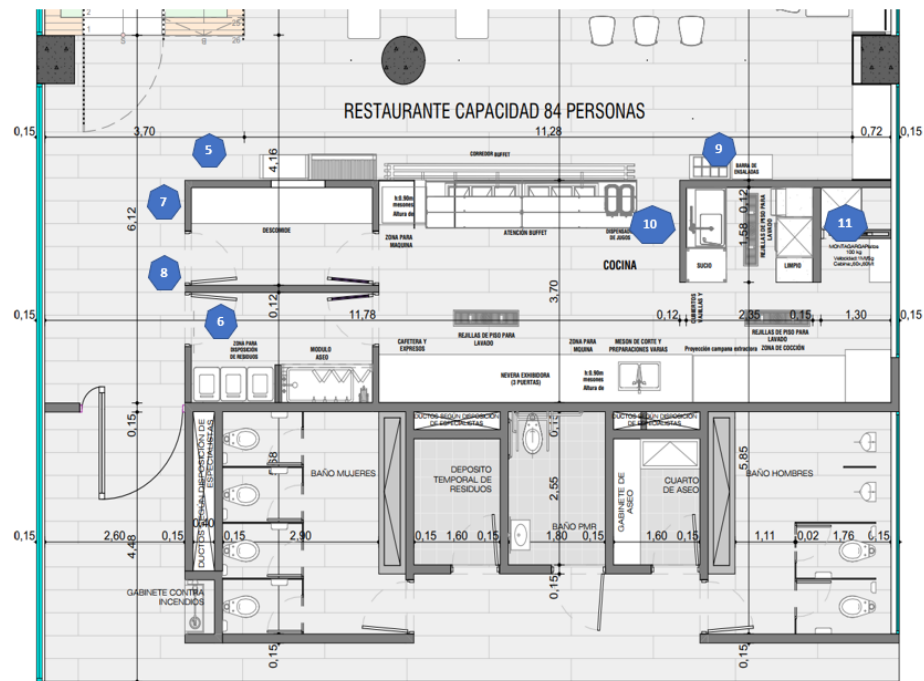
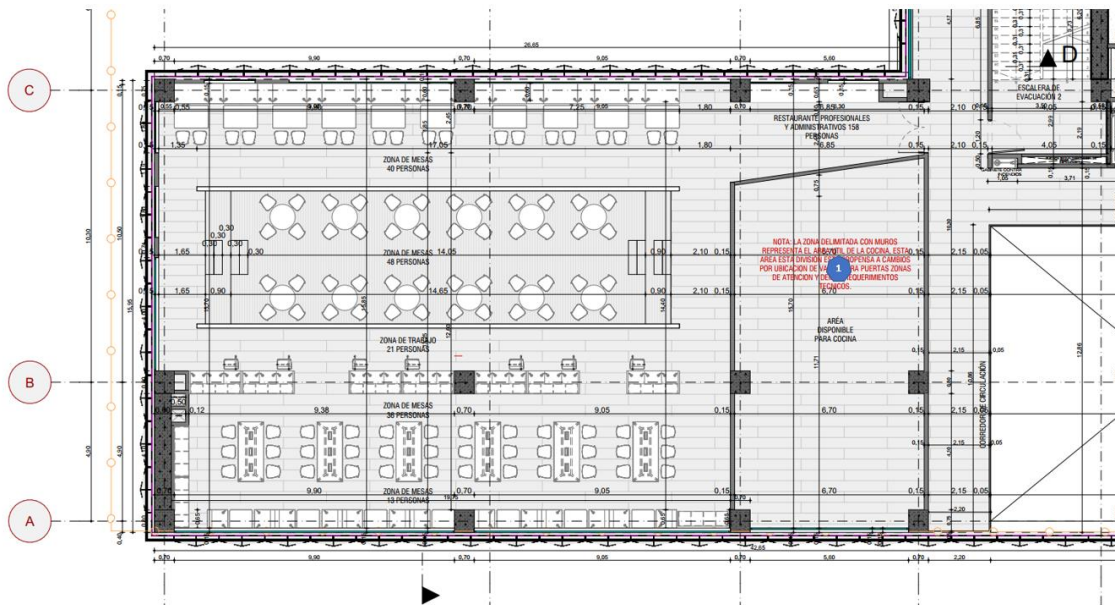


Figura 8.

Plano muro 1 cocina restaurante nivel 3.



Los horarios de trabajo en la obra fueron de lunes a viernes de 7:00 a.m. a 12:00 p.m. y de 1:00 p.m. a 6:00 p.m., con un descanso de 15 min a las 9:00 a.m. y a las 3:00 p.m., para un total de

10 horas laborales diarias; los días sábado de 7:00 a.m. a 12:00 p.m. y de 1:00 p.m. a 5:00 p.m.; y jornadas extra esporádicas los domingos de 7:00 a.m. a 12:00 p.m.

La toma de datos se realizó entre el 21 de enero y el 2 de febrero del 2021, por medio de un dispositivo móvil con capacidad de 32 GB de almacenamiento, que permitió obtener grabaciones del proceso durante 45 minutos por 3 horas continuas. En favor de la diligencia del personal y la posibilidad de acceder a la energía se logró obtener 5 horas continuas de video del proceso constructivo. La frecuencia de la toma de datos se realizó conforme a la información brindada por dos de los encargados (maestro de obra e ingeniera residente) según los días de ejecución semanales.

4.2 Aplicación de la Metodología DMAIC

Con base en las consultas realizadas sobre la fases DMAIC de Six Sigma y las herramientas de la filosofía Lean Construction, se procedió a plantear una metodología aplicable al proceso constructivo de la mampostería que se observó en nuestro caso de estudio. Debido al corto alcance de la presente investigación, se plantea para dar continuidad en próximas investigaciones. (Ver Apéndice D)

5. Resultados y Discusión

5.1 Clasificación de Actividades en Obra

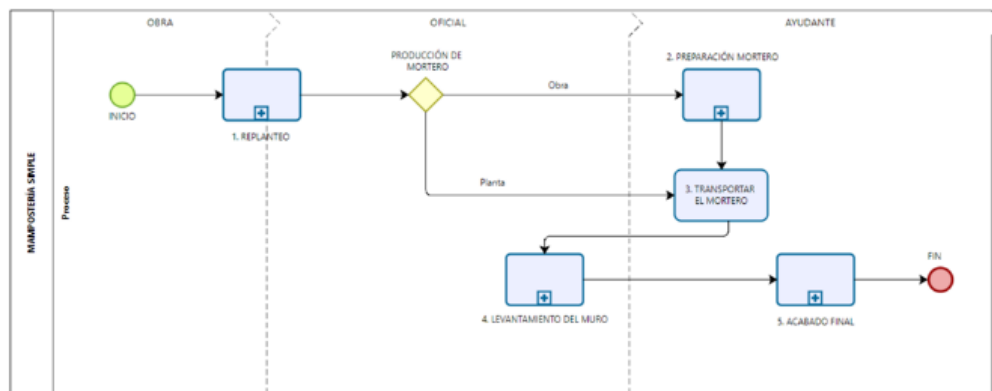
En la presente investigación se hizo inicialmente una búsqueda de material audiovisual mediante las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), manuales constructivos que nos permitieran conocer cómo se ejecuta el proceso constructivo de la mampostería. Posterior a

ello se consolidó esta información en la tabla del Apéndice E, donde se hizo la clasificación de actividades, tareas y labores, estas últimas a su vez fueron clasificadas en productivas, contributivas, no productivas y de control. Además, se añadió el tipo de prioridad al ser ejecutadas y el personal que asume la responsabilidad.

A partir de la clasificación realizada se procedió a construir un modelo, haciendo uso del software Bizagi. En donde se pudo diferenciar entre actividades, tareas y labores y visualizar la secuencia de ejecución por cada uno de los actores, se puede observar en la Figura 9.

Figura 9.

Modelo preliminar del proceso constructivo de la mampostería para una cuadrilla 1:1.



Posterior a la construcción del modelo preliminar, continuó la toma de datos del proceso en campo, de allí se obtuvo material audiovisual que fue revisado detenidamente de manera conjunta a las anotaciones de la bitácora, se definieron los nombres de las tareas observadas y se hizo la consolidación de la información (fecha, hora, tiempo de video, tiempo acumulado, tiempo parcial, actividad, tarea, labor realizada por cada uno de los integrantes de la cuadrilla de trabajo, descripción adicional, muro, hilada, ID video y link del video en el almacenamiento interno) en un formato que facilitó la interpretación de los datos. (Ver Apéndice F)

Con base en la información de campo consolidada se identificaron las labores ejecutadas por cada uno de los trabajadores según la configuración de la cuadrilla de trabajo y las características del muro construido.

La primera cuadrilla de trabajo estuvo conformada por un oficial y un ayudante, iniciaron su trabajo en el muro 1, contaban con herramienta eléctrica de corte, herramientas de nivelación y las actividades, tareas y labores ejecutadas se describen en el Apéndice G, la sexta cuadrilla estaba conformada por 2 oficiales y 1 ayudante, trabajaron en los muros 5, 6, 7, y 8, contaban con pocas herramientas de nivelación, su herramienta de corte era mecánica y las labores que realizaban se describen en (Apéndice H)

A partir de las labores identificadas en campo se creó un modelo del proceso constructivo de mampostería, para cuadrilla 1:1 que realiza el emparejado de ladrillos de forma tradicional y sin refuerzo longitudinal (Apéndice I), cuadrilla 1:1 que realiza el emparejado de ladrillos por estampillado y sin refuerzo longitudinal (Apéndice J) y para cuadrilla 1:1 que realiza el emparejado de ladrillos de forma tradicional e instala refuerzo longitudinal (Apéndice K), construidos con el fin de plantear un modelo del proceso constructivo que contara con las condiciones reales observada.

Y finalmente se hizo la observación de los tiempos invertidos cada una de las labores y según su clasificación en productivas, contributivas y no productivas. En la primera cuadrilla se observó que las labores no productivas realizadas por el oficial y el ayudante son 9% y 23% del tiempo total invertido, como se aprecia en las Figura 10 y Figura 11 y en la cuadrilla 6, las labores no productivas del oficial 1, el oficial 2 y el ayudante son el 8%, 9% y 49% respectivamente como se observa en Figura 12, Figura 13 y Figura 14.

Figura 10.

Porcentaje del tiempo invertido por el oficial de la cuadrilla 1.

**Figura 11.**

Porcentaje del tiempo invertido por el ayudante de la cuadrilla 1.

**Figura 12.**

Porcentaje del tiempo invertido del oficial 1 de la cuadrilla 6.

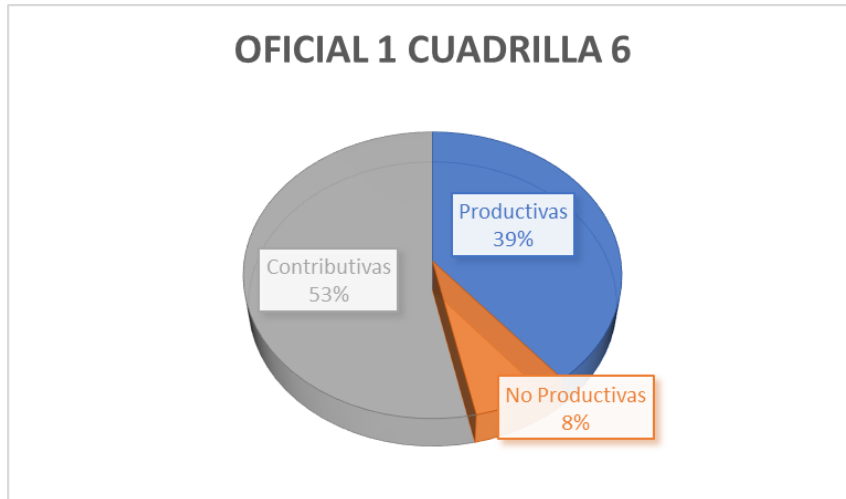


Figura 13.

Porcentaje del tiempo invertido del oficial 2 de la cuadrilla 6.

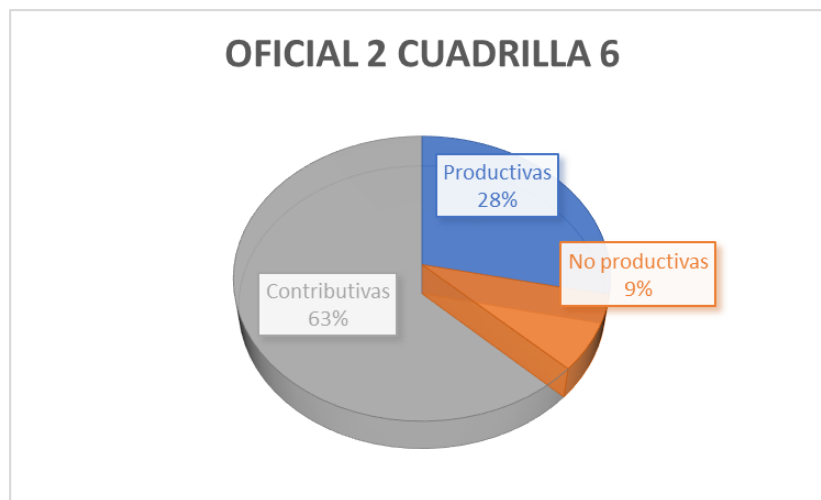
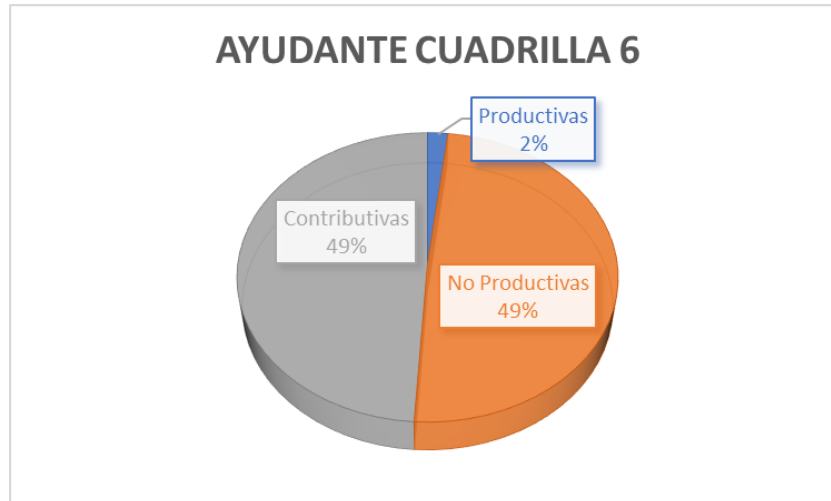


Figura 14.

Porcentaje del tiempo invertido del oficial 2 de la cuadrilla 6.



5.2 Factores de Pérdidas

A partir de la información recopilada, se observaron ciertos factores externos que tuvieron influencia en los tiempos del proceso, como: adelanto de salida por disturbios en la zona; o la generación de trabajo extra, como: la evacuación del agua lluvia acumulada; son situaciones externas que pudieron influir en los tiempos tomados del proceso.

Con base en los datos recolectados y la clasificación de desperdicios establecida por la filosofía Lean, se hizo una identificación de las labores improductivas que afectan el desarrollo adecuado del proceso constructivo de la mampostería en la obra seleccionada. (Apéndice L)

5.3 Análisis de las Actividades

La implementación de equipos y herramientas como lo es el uso de la pulidora permite reducir desecho de materia prima, al aprovechar las dos caras del bloque de ladrillo, así como favorece la reducción del tiempo de corte. A diferencia como ocurre con la hachuela, que genera más residuos y tiene un mayor tiempo de implementación.

Utilizar otras técnicas de colocación de ladrillos como lo es el estampillado en ladrillos livianos, agiliza el proceso, reduce el sobrante de mortero que queda en el suelo y garantiza el espesor de la brecha.

Se observó que cuando un oficial tiene una estatura mayor a 1.60m, que es la altura que corresponde a la octava hilada de ladrillos, se le facilita ubicar la novena hilada sin andamios, práctica no recomendada que realizan en obra.

En la toma de datos se hizo énfasis en la diferencia que hay al colocar los ladrillos externos y colocar los ladrillos internos, debido a que los ladrillos externos requieren invertir más tiempo en la nivelación para garantizar la alineada de los ladrillos internos.

En las grabaciones realizadas a la cuadrilla 1, se observó que el ayudante apoyaba labores del oficial, como aplicar la brecha vertical en la hilada ya instalada. Esta puede ser una de las razones, por las que cuenta con menos tiempo invertido en labores no productivas.

5.4 Recomendaciones

Para la toma de datos en campo se recomienda llevar una bitácora para registrar tiempos de inicio, eventualidades que no pueden ser observadas por el lente de video y son de ayuda al realizar el análisis de los datos. Además, se recomienda dejar un registro fotográfico del antes y después de iniciar la toma de datos, para facilitar la medición de tiempo y trabajo realizado.

En cuanto al proceso constructivo de la mampostería se observó el exceso de tiempo invertido en la búsqueda de herramientas, porque no contaban con las herramientas necesarias, una recomendación sería garantizar que los trabajadores cuenten con las herramientas indicadas para el proceso o solicitárselas antes de iniciar el trabajo.

Implementar herramientas Lean para mejorar la comunicación entre los directivos de la obra y así coordinar las actividades que se realizan, evitando el retrabajo y demoliciones.

6. Conclusiones

A partir de la gestión visual implementada en esta investigación se logró plantear las tareas y labores tipo del proceso constructivo de la mampostería. Además de las cuadrillas de trabajo, insumos y herramientas asignadas para llevar a cabo el proceso constructivo en el caso de una empresa del área metropolitana de Bucaramanga.

Como resultado, de esta investigación y la integración de las herramientas Lean y Six sigma se plantea una metodología con base en las etapas DMAIC para dar continuidad con el análisis, mejora y control del proceso, para así lograr unos mejores rendimientos, reducir los residuos generados y aminorar los tiempos de entrega.

Por último, se plantea una pregunta investigativa y es si la cuadrilla tipo 1:1 comúnmente utilizada para el proceso constructivo de la mampostería puede reemplazarse por una cuadrilla 2:1 al contrarrestar las labores improductivas que realizan los ayudantes?

Referencias

- Alaa, A. S., Shaiful, A. I. M., Zain, Z. M., & Malek, A. K. (2018). *Variable Value Stream Mapping : Development of a Conceptual Model. 020059*. <https://doi.org/10.1063/1.5066700>
- Alarcón Cárdenas, L. F., & Pellicer Armiñana, E. (2009). A new management focus : lean construction. *Revista de Obras Públicas/ Febrero 2009/ No. 3496, October 2016*, 45–52.
- Añazco Campoverde, G. A., & Sánchez Buri, J. C. (2010). *PÉRDIDAS OPERACIONALES GENERADAS EN LA CONSTRUCCIÓN: ANÁLISIS DE SUS CAUSAS Y SOLUCIONES MEDIANTE LA FILOSOFÍA DE LEAN CONSTRUCTION*.
- Anderson, N. C., & Kovach, J. V. (2014). Reducing welding defects in turnaround projects: A lean six sigma case study. *Quality Engineering*, 26(2), 168–181. <https://doi.org/10.1080/08982112.2013.801492>
- Araque Gonzales, G. A. (2010). *Planeación e implementación de la filosofía Lean Construction en base al estudio de pérdidas y aplicación del sistema Last Planner en un proyecto constructivo de la empresa Marval S.A.* 260.
- Baños, R. V., Fonseca, M. T., & Álvarez, M. R. (2019). Análisis de regresión lineal múltiple con SPSS: un ejemplo práctico. *REIRE Revista d Innovaci i Recerca En Educaci*, 12 (2), 1–10. <https://doi.org/10.1344/reire2019.12.222704>
- Barreto, A. M., & Heineck, L. F. M. (n.d.). *LEARNING , STRUCTURAL MASONRY TECHNOLOGY AND LEAN CONSTRUCTION : A CASE STUDY IN A SMALL BUILDING SITE*. 55(84).

- Borjas, B., & Manuel, C. (2005). Redalyc.LEY DE PARETO APLICADA A LA FIABILIDAD. *Ingeniería Mecánica*, 8 Num. 3(1998), 1–9.
- Bouti, A., & Ati Kadi, D. (1994). A STATE OF THE ART REVIEW OF FMEA/FMECA. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 1(4), 515–543.
- Brady, D. A., Tzortzopoulos, P., Rooke, J., Formoso, C. T., Tezel, A., Brady, D. A., Tzortzopoulos, P., Rooke, J., Formoso, C. T., Tezel, A., Rooke, J., & Formoso, C. T. (2018). *Improving transparency in construction management: a visual planning and control model management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2017-0122>
- CAMACOL, & McKinsey. (2018). *INFORME DE PRODUCTIVIDAD. SECTOR CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES*.
- Carrizales, O., García, M., Díaz, R., & Pérez, I. (2016). Filosofía de las 3M para la eliminación de los desperdicios. *ResearchGate*, February.
- Cuervo, J. S., & Sampayo, E. F. (2017). Stabilization of the plan percent complete indicator in masonry by the application of lean construction - Six sigma techniques. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, May, 45.
- de Diego, A. T., Sierra, N. M., & Arcía, S. J. (2009). «Las claves del éxito de Toyota». LEAN, más que un conjunto de herramientas y técnicas. *Cuadernos de Gestion*, 9(2), 113–122.
- Fernando, L., Botero, B., Eugenia, M., & Villa, Á. (2003). Identificación de Pérdidas. *Construction*, 65–78.
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2009). *CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD Y SEIS SIGMA* (Segunda). McGRAW-HILL.

- Hamzeh, F. (2015). *The Lean Journey : Implementing The Last Planner ® System in Construction*. *THE LEAN JOURNEY: IMPLEMENTING THE LAST PLANNER ® SYSTEM IN CONSTRUCTION*. July 2011. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3648.7522>
- Houa, S. C., Haslinda, M., Muliati, S., Miri, A. M., & Rahim, A. F. (2018). *Implementation of 5S in Manufacturing Industry : A Case of Foreign Workers in Melaka*. 05034, 1–5.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. 72.
- LC, L. I. C. (n.d.). *¿Que es Lean?* <https://institutolean.co/instituto/>
- Lezana Pérez, Emilio Achell Pons, J. F. (2014). *Introducción a Lean Construction* Introducción a lean construction. *Fundación Laboral de La Construcción*.
- Li, Y., & Fernandez, J. (2013). A structured literature review: value stream mapping (VSM) in construction industry. *Management*, 53(2), 123.
- Machfudiyanto, R. A., Latief, Y., Soepandji, B. S., & Anggia, P. (2018). *Improving business processes to develop standard operation procedures on government building maintenance work in Indonesia*. 06006.
- Murugaiah, U., Benjamin, S. J., Marathamuthu, M. S., & Muthaiyah, S. (2010). Scrap loss reduction using the 5-whys analysis. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 27(5), 527–540. <https://doi.org/10.1108/02656711011043517>
- Normas Técnicas Colombianas NTC* (INSTITUTO, Issue 571). (2009).
- Ohno, T. (1988). *TOYOTA PRODUCTION SYSTEM Beyond Large-Scale Production*. In *Diamond, Inc.* (Toyota sei). Diamond, Inc.
- Orihuela, P., & Orihuela, J. (n.d.). *Aplicaciones del Lean Design a proyectos inmobiliarios de vivienda*. In *Montiva s.a. Consultoría, Inmobiliaria y Construcción* (p. 22).

Pavnaskar, S. J., & Gershenson, J. K. (2016). *DET C20 04-5 7 768 THE APPLICATION OF VALUE STREAM MAPPING TO LEAN ENGINEERING*. 1–10.

Rauch, E., Matt, D. T., Dallasega, P., Matt, D. T., & Dallasega, P. (2015). *Mobile On-site Factories – scalable and distributed manufacturing systems for the construction industry*.

Rivera Cadavid, L. (2013). Justificación conceptual de un modelo de implementación de Lean Manufacturing. *Heurística*, 15, 91-106 Página.

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

Rosenbaum, S., Toledo, M., Ph, D., González, V., & Ph, D. (2014). *Improving Environmental and Production Performance in Construction Projects Using Value-Stream Mapping: Case Study*. 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862)

Sarmiento, J.-A., & Rincón, C. (2020). ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA ECONOMÍA COLOMBIANA. *24th International Congress on Project Management and Engineering*, 24(66), 560–572.
<https://doi.org/10.14483/22487638.16194>

Schroeder, R. G., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A. S. (2008). Six Sigma: Definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*, 26(4), 536–554.
<https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.06.007>

Selvi, K., & Majumdar, R. (2014). *Six Sigma- Overview of DMAIC and DMADV*. 5, 16–19.

SERPELL BLEY, A. (2002). *ADMINISTRACION DE OPERACIONES DE CONSTRUCCION* (2ed.). Alfaomega ; Santiago de Chile.

Sísmica, A. C. de I. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* (A. C. de I. Sísmica, Ed.).





Six Sigma Digest. (n.d.).




Socconini, L., & Escobedo, E. (2021). *Lean Six Sigma Green Belt, paso a paso*. Marge Books.




VALVERDE PINGO, E. L., & REYES RUBIO, J. E. (2021). *Implementación de propuesta de mejora en área de envasado de medicamentos líquidos no estériles mediante la aplicación de la metodología Lean Six Sigma para el aumento de la Eficiencia General de Equipos (OEE)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.




Wang, F., & Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5–23.
<https://doi.org/10.1007/BF02504682>

Apéndice B. Herramientas empleadas en el proceso constructivo de la mampostería.

HERRAMIENTAS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN CAMPO			
No	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FOTOGRAFÍA
1	Plomada	Es indispensable para alinear de forma vertical ladrillos emparejados en muros de cualquier longitud o altura.	
2	Regla corta metálica 1m 1x3 pulg T-246 Aluminio (Boquilla)	Utilizada para alinear los ladrillos de forma horizontal y vertical en muros de cualquier longitud o altura.	
3	Regla larga metálica 3m 1x3 pulg T-246 Aluminio (Boquilla)	Implementada para alinear los ladrillos de forma vertical en muros de cualquier longitud o altura.	
4	Nivel de mano Stanley	Usada para nivelar los ladrillos de forma horizontal y vertical en	

	muros de cualquier longitud o altura.	
5 Hilo albañil o Cuerda de nivel	Se enrolla en los ladrillos esquineros y es aplicada en muros mayores 1.5 m.	
6 Fijadores de hilo o clavijas de nivelación	Mecanismo fabricado de forma artesanal que permite fijar la cuerda de nivel a los ladrillos esquineros y es usada en muros mayores 1.5 m.	
7 Hachuela	Herramienta utilizada para cortar ladrillos de forma manual. Dentro de sus ventajas es el bajo costo y su practicidad cuando no se cuenta con energía eléctrica. Sus desventajas pueden ser el daño de material y una inversión de tiempo mayor.	

<p>8 Pulidora Cortadora</p>	<p>Equipo utilizado para cortar ladrillos de forma mecánica. Dentro de sus desventajas está la necesidad de una extensión y energía en el nivel que se desea implementar, además de la inversión en discos de corte para su uso.</p>	
<p>9 Palustre</p>	<p>Herramienta indispensable para remover la mezcla, aplicar la brecha de mortero y limpiar el mortero sobrante.</p>	
<p>10 Llana</p>	<p>Herramienta utilizada para revitar el muro una vez se ha terminado de emparejar la hilada completa.</p>	

11 Martillo	Herramienta utilizada para desplazar los ladrillos y lograr su nivelación.	
12 Balde negro albañil 8L	Implemento utilizado para transportar agua o para preparar mezcla de mortero.	
13 Balde de pintura 5gal 18.9L	Implemento utilizado para transportar el agua desde el depósito hasta la zona de trabajo.	

Apéndice D. Fases DMAIC y las herramientas planteadas para el caso de estudio

ETAPAS	DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTAS
DEFINIR	Detalles del caso o proceso, sus problemas y objetivos, el alcance del proyecto, hitos, roles, necesidades del cliente, métodos para recopilar información del cliente, mapeo de los procesos, conexión cliente-proceso y construcción del marco del proyecto.	Descripción general
MEDIR	Estándares de rendimiento, plan para la recopilación de datos, validación del sistema de medición, línea base de medición, comprender y cuantificar la magnitud del problema o situación.	Visual Management, formato de recolección de datos.
ANALIZAR	Examinar el valor en cada paso del proceso, inspeccionar los datos recopilados y transformarlos en graficas de fácil visualización, lluvias de ideas y análisis consolidado de la causa del problema.	VSM, Diagrama de pareto, 5 Whys, Poka yoke.
MEJORAR	Proponer e implementar alternativas de solución, establecer prioridad de ejecución, comunicación de las	Kanbans, Last Planner System (Plan maestro, Plan

soluciones a las partes interesadas,
mapa de procesos y plan piloto.

Intermedio y Plan semanal),

Obeya room.

CONTROLAR

Desarrollar métricas de monitoreo,
documentar proceso, gestión para
estandarizar el proceso, documentar
plan de control y monitoreo el
proceso.

PPC

Apéndice E. Planteamiento preliminar de actividades, tareas y labores del proceso constructivo de la mampostería.

ITEM	ACTIVIDADES	TAREAS	LABORES	TIPO DE LABOR	PRIORIDAD	RESPONSABILIDAD
MAMPOSTERÍA						
1		Replanteo				
1.1			Cimbrado	Productiva	1	Ayudante
1.2			Aprobar	Control	1	Oficial
2		Preparación Mortero				
2.1			Transporte de materiales	Contributiva	2	Ayudante
2.2			Dosificar arena	Contributiva	1	Ayudante
2.3			Dosificar cemento	Contributiva	1	Ayudante
2.4			Dosificar agua	Contributiva	1	Ayudante
2.5			Dosificar aditivo	Contributiva	2	Ayudante
2.6			Mezclar mortero	Productiva	1	Ayudante
3		Transporte del mortero				
3.1			Transporte horizontal	Contributiva	2	Ayudante
3.2			Transporte vertical	Contributiva	2	Ayudante
4		Lavantamiento del Muro				
4.1			Transportar ladrillos al sitio	Contributiva	2	Ayudante
4.2			Cortar ladrillos	Contributiva	1	Ayudante
4.3			Aparejar ladrillos	Productiva	1	Oficial
4.4			Aprobar	Control	1	Oficial
5		Acabado final				
5.1			Revitar y limpiar	Contributiva	1	Ayudante
5.2			Impermeabilizar	Productiva	2	Ayudante
5.3			Aprobar	Control	1	Oficial

Apéndice F. Formato para consolidar la información recolectada en campo.

FECHA	HORA INICIO	HORA	T A C U M U L A D O			T PARCAL (SEG)	HORA FIN	ACTIVIDAD	TAREAS	LABORES ORIGINALES		LABORES AYUDANTE		DESCRIPCION	MO	HO	MA	HA	VIDEO	LINK RLM
			MIN	SEG	TERC					TAREAS	LABORES AYUDANTE									
21/04/2022	09:19:30 a. m.	0	0	0	0	46	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	Nivelar ladrillos	Levantamiento del Muro	nivelar ladrillos		Instalación ladrillos esquineros	M1	H3	M1	H3	Video 2.1.1	Enlace hipervinculo	
21/04/2022		0	0	46	35		MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	esperar	Levantamiento del Muro	esperar		Ayudante salió del sitio de trabajo	M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	1	43	103	16	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	esperar	Levantamiento del Muro	transportar arena			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	1	39	119	28	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha horizontal	Levantamiento del Muro	transportar arena			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	1	27	147	62	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	colocar ladrillos externos	Levantamiento del Muro	transportar arena			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	3	29	209	6	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	colocar ladrillos externos	Levantamiento del Muro	transportar arena			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	3	35	215	18	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	Nivelar ladrillos	Levantamiento del Muro	transportar arena			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	3	53	233	32	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	Nivelar ladrillos	Levantamiento del Muro	limpiar		Uso del nivel stantley	M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	4	25	265	16	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	Nivelar ladrillos	Levantamiento del Muro	limpiar		Uso de la plomada	M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	4	43	283	23	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	Nivelar ladrillos	Levantamiento del Muro	dosificar arena			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	5	4	304	20	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	limpiar	Levantamiento del Muro	transportar arena		Limpiar sobrante suero	M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	5	24	324	47	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha vertical	Levantamiento del Muro	transportar arena		Ladrillo en el muro de traba	M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	6	13	371	14	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha vertical	Levantamiento del Muro	transportar arena			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	6	25	385	9	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha vertical	Levantamiento del Muro	dosificar arena			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	6	34	394	22	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha vertical	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla seca			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	6	56	416	20	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha vertical	Levantamiento del Muro	transportar cemento			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	7	16	436	30	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha vertical	Levantamiento del Muro	dosificar cemento			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	7	46	466	71	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha vertical	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla seca			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	8	57	537	18	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	esperar	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla seca		Búsqueda de madera para soporte del ladrillo	M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	9	15	555	36	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	Nivelar ladrillos	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla seca			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	9	1	593	9	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	Nivelar ladrillos	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla seca		Uso del hilo	M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	10	0	600	85	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	Nivelar ladrillos	Levantamiento del Muro	Nivelar ladrillos		Ayudante ayuda a nivelar desde el otro lado del r	M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	11	25	685	65	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	Nivelar ladrillos	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla seca			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	12	30	750	9	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla húmeda	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla seca			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	12	39	759	15	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha horizontal	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla seca			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	12	54	774	52	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	colocar ladrillos internos	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla seca			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	13	46	826	16	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha horizontal	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla seca			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	14	2	842	47	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	colocar ladrillos internos	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla seca			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	14	49	889	23	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha horizontal	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla seca			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	15	12	912	23	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	colocar ladrillos internos	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla seca			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	15	35	935	69	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	colocar ladrillos internos	Levantamiento del Muro	limpiar			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	16	44	1004	16	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	colocar ladrillos internos	Levantamiento del Muro	esperar			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	17	0	1000	35	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	colocar ladrillos internos	Levantamiento del Muro	esperar			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	17	35	1005	14	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	esperar	Levantamiento del Muro	esperar			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	17	49	1069	18	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	limpiar	Levantamiento del Muro	transportar mezcla húmeda			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	18	7	1087	25	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	dosificar agua	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla húmeda			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	18	32	1112	22	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla húmeda	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla húmeda			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	18	54	1134	28	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha horizontal	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla húmeda			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	19	22	1162	13	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha horizontal	Levantamiento del Muro	dosificar agua			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	19	35	1175	1	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	Nivelar ladrillos	Levantamiento del Muro	dosificar agua			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	19	36	1176	16	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	Nivelar ladrillos	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla húmeda		Mezcla húmeda en la carretilla	M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	19	52	1192	36	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	colocar ladrillos internos	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla húmeda			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	20	28	1228	2	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	esperar	Levantamiento del Muro	mezclar mezcla húmeda			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	20	30	1230	6	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	esperar	Levantamiento del Muro	esperar			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	20	36	1236	20	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha horizontal	Levantamiento del Muro	limpiar			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	20	56	1256	47	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	colocar ladrillos internos	Levantamiento del Muro	limpiar			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	21	43	1303	17	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha horizontal	Levantamiento del Muro	limpiar			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	22	0	1320	81	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	colocar ladrillos internos	Levantamiento del Muro	limpiar		Visita de la ingeniera	M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	23	21	1402	11	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	aplicar brecha horizontal	Levantamiento del Muro	limpiar			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	23	32	1412	43	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	colocar ladrillos internos	Levantamiento del Muro	limpiar			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	24	13	1450	25	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	esperar	Levantamiento del Muro	limpiar		Medida del ladrillo cortado	M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	24	40	1480	13	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	esperar	Levantamiento del Muro	cortar ladrillos			M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	24	53	1493	50	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	Nivelar ladrillos	Levantamiento del Muro	cortar ladrillos		Uso de la plomada	M1	H3	M1	H3			
21/04/2022		0	25	43	1543	32	MAMPOSTERIA	Levantamiento del Muro	esperar	Levantamiento del Muro	cortar ladrillos			M1	H3	M1	H3			

Apéndice G. Actividades, tareas y labores observadas en el muro 1.

ITEM	ACTIVIDADES	TAREAS	LABORES	TIPO DE LABOR	RESPONSABILIDAD	PRI
					D	ORI
						DA
						D
MAMPOSTERÍA						
1.	Preparación y transporte del Mortero					
1.1.			Transportar cemento	Contributiva	Ayudante	
1.2.			Transportar arena	Contributiva	Ayudante	

1.3.	Cernir la arena	Contributiva	Ayudante
1.4.	Dosificar arena	Contributiva	Ayudante
1.5.	Dosificar cemento	Contributiva	Ayudante
1.6.	Transportar agua	Contributiva	Ayudante
1.7.	Dosificar agua	Contributiva	Oficial o Ayudante
1.8.	Mezclar mezcla seca	Contributiva	Ayudante
1.9.	Transportar mezcla seca	Productiva	Ayudante
1.10.	Mezclar mezcla húmeda	Contributiva	Oficial o Ayudante
1.11.	Transportar mezcla húmeda	Productiva	Oficial o Ayudante
2.	Lavamiento del Muro		
2.1.	Transportar ladrillos	Contributiva	Ayudante
2.2.	Organizar ladrillos	Contributiva	Ayudante
2.3.	Cortar ladrillos	Contributiva	Oficial o Ayudante
2.4.	Aplicar brecha horizontal	Contributiva	Oficial
2.5.	Colocar ladrillos externos	Productiva	Oficial
2.6.	Nivelar ladrillos	Contributiva	Oficial
2.7.	Colocar ladrillos internos	Productiva	Oficial

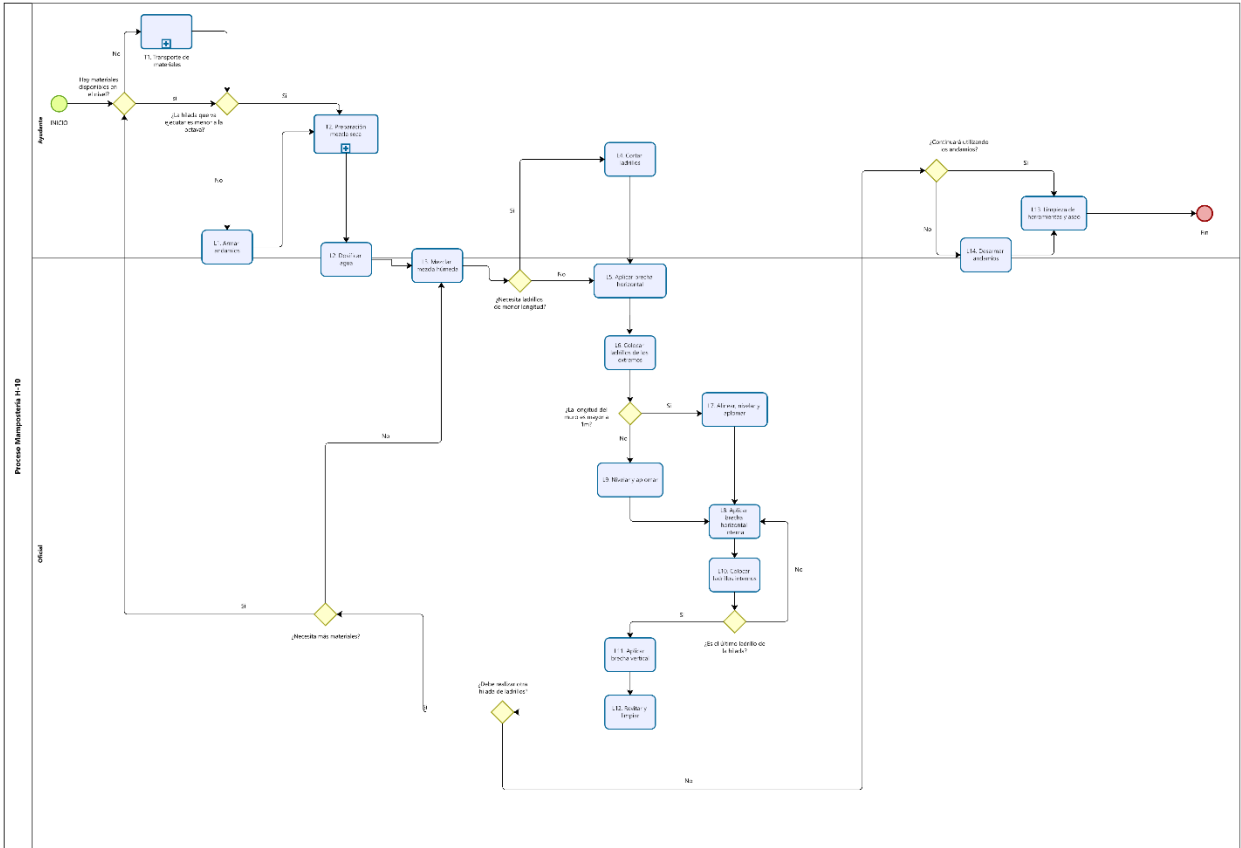
2.8.	Aplicar brecha vertical	Contributiva	Oficial o Ayudante
2.9.	Cortar acero refuerzo	Contributiva	Ayudante
2.10.	Instalar acero de refuerzo	Contributiva	Oficial y Ayudante
2.11.	Armar andamios	Contributiva	Oficial y Ayudante
2.12.	Limpiar mortero sobrante	Contributiva	Oficial
2.13.	Aprobar	Control	Maestro Obra
3.	Acabado final		
3.1.	Desarmar andamios	Contributiva	Oficial y Ayudante
3.2.	Limpiar zona y organizar herramientas	Contributiva	Oficial y Ayudante

Apéndice H. Actividades, tareas y labores observadas en el muro 5, 6, 7 y 8.

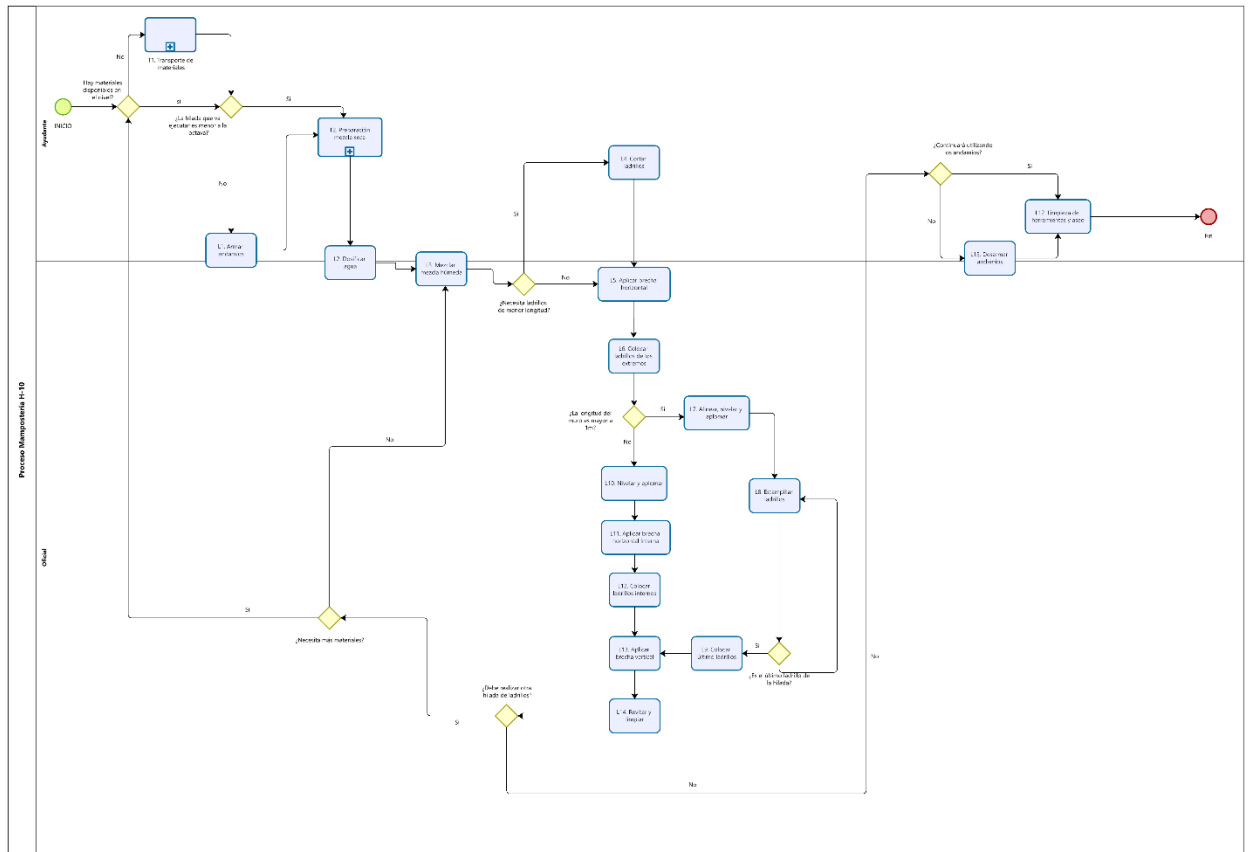
ITEM	ACTIVIDADES	TAREAS	LABORES	TIPO DE LABOR	RESPONSABILIDAD	PRIORIDAD
MAMPOSTERÍA						
1.	Replanteo					
1.1.			Revisar planos	Contributiva	oficial	1
1.2.			Despejar zona	Contributiva	Ayudante	1
1.3.			Limpiar	Contributiva	Ayudante	1
1.4.			Cimbrar	Productiva	Oficial y Ayudante	1
1.5.			Aprobar	Control	Maestro Obra	1
2.	Preparación y transporte del Mortero					
2.1.			Transportar cemento	Contributiva	Ayudante	2
2.2.			Transportar arena	Contributiva	Ayudante	2
2.3.			Cernir la arena	Contributiva	Ayudante	2
2.4.			Dosificar arena	Contributiva	Ayudante	1
2.5.			Dosificar cemento	Contributiva	Ayudante	1
2.6.			Transportar agua	Contributiva	Ayudante	2
2.7.			Dosificar agua	Contributiva	Oficial o Ayudante	1
2.8.			Mezclar mezcla seca	Contributiva	Ayudante	2
2.9.			Transportar mezcla seca	Productiva	Ayudante	1
2.10.			Mezclar mezcla húmeda	Contributiva	Oficial o Ayudante	1
2.11.			Transportar mezcla húmeda	Productiva	Oficial o Ayudante	1
3.	Lavantamiento del Muro					

3.1.	Transportar ladrillos	Contributiva	Ayudante	2
3.2.	Organizar ladrillos	Contributiva	Ayudante	2
3.3.	Cortar ladrillos	Contributiva	Oficial o Ayudante	1
3.4.	Aplicar brecha horizontal	Contributiva	Oficial	1
3.5.	Colocar ladrillos externos	Contributiva	Oficial	1
3.6.	Nivelar ladrillos	Contributiva	Oficial	1
3.7.	Colocar ladrillos internos	Productiva	Oficial	1
3.8.	Aplicar brecha vertical	Contributiva	Oficial	1
3.9.	Estampillar ladrillos	Contributiva	Oficial	1
3.10.	Armar andamios	Contributiva	Oficial y Ayudante	1
3.11.	Limpiar mortero sobrante	Contributiva	Oficial	2
3.12.	Aprobar	Control	Maestro Obra	1
4.	Acabado final			
4.1.	Desarmar andamios	Contributiva	Oficial y Ayudante	2
4.2.	Limpiar zona y organizar herramientas	Contributiva	Oficial y Ayudante	2

Apéndice I. Modelo cuadrilla 1:1 Colocación de mampuestos tradicional



Apéndice J. Modelo cuadrilla 1:1 Colocación de mampuestos estampillados



Apéndice K. Modelo cuadrilla 1:1 Colocación de mampuestos tradicional e instalación de refuerzo longitudinal.

Apéndice L. Clasificación de las labores improductivas.

No	CLASIFICACIÓN DESPERDICIOS	DESPERDICIOS	DESPERDICIOS OBSERVADOS EN CAMPO
1	Sobreproducción	Hace referencia a la producción de cantidades más grandes que las requeridas o más pronto de lo necesario.	Brechas con espesor mayor al exigido, instalación de chazo extra, pérdida de mortero sobrante.
2	Esperas o tiempo de inactividad	En esta clasificación se encuentran los tiempos de espera, interrupciones del trabajo o el tiempo de inactividad debido a la falta de datos o información, especificaciones u órdenes, planos, y materiales; esperas por actividad precedente; tiempos de espera por falta de equipos, retraso en el transporte o instalación de equipos; esperas por área de trabajo inaccesible; esperas por accidentes ocasionados por la falta de seguridad; esperas por repetición del trabajo debido a cambios en el diseño, contradicciones en los documentos de diseño, interacción entre especialistas, falta de coordinación entre las cuadrillas, revisiones y aprobaciones.	Tiempos de espera por falta de equipos o herramientas, esperas por repetición del trabajo debido a cambios en el diseño, aprobaciones, órdenes, revisiones, tiempo de inactividad debido a la falta de datos o información, esperas por área de trabajo inaccesible, esperas por falta de materiales, esperas por tarea precedente, contradicciones en los documentos de diseño.
3	Transporte innecesario	Se refiere al transporte innecesario relacionado con el movimiento interno de los recursos (materiales, datos, etc.) en la obra. Suele estar relacionado con la mala distribución y la falta de información o planificación de los flujos de materiales.	Transporte de ladrillos

4	Sobreprocesamiento	En este término se incluyen los procesos adicionales en la construcción o instalación de elementos que causan el uso excesivo de materia prima, equipos, energía, etc. También se incluyen en esta categoría las inspecciones excesivas o inspecciones duplicadas.	Corte de ladrillos con hachuela, nivelación excesiva.
5	Exceso de inventario	Se refiere a los inventarios excesivos, innecesarios o antes de tiempo, que pueden conducir a pérdidas de material (por deterioro, obsolescencia, stock inadecuado, robo u otros incidentes), personal adicional para gestionar el exceso de material y costes financieros por la compra anticipada.	
6	Movimientos innecesarios	En esta categoría se incluyen los movimientos innecesarios o ineficientes realizados por los trabajadores durante su operación. Esto puede ser causado por la utilización de equipo inadecuado, métodos de trabajo ineficaces, falta de estandarización o mal acondicionamiento del lugar de trabajo y conlleva a pérdida de tiempo y bajas laborales.	
7	Defectos de calidad	Hace referencia a los errores en el diseño, mediciones o planos; que pueden ser ocasionados por fallas en la comunicación, el desajuste entre planos de diferentes dependencias, uso de métodos de trabajo incorrectos o mano de obra poco cualificada.	Muros mal nivelados

8	Talento	<p>Hace alusión al desaprovechamiento de ideas, aptitudes, mejoras y nuevas tecnologías, que son aportadas por instituciones públicas, otros especialistas, e incluso los trabajadores de los bajos niveles jerárquicos en la empresa, y pueden ser implementadas en el mejoramiento interno de la empresa o del proceso, para lograr altos rendimientos. Así mismo, puede hacer referencia a: la falta de motivación, mano de obra no cualificada, estímulos a los trabajadores, resolución de problemas o recursos para la mejora continua.</p>	<p>Desaprovechamiento de aptitudes del ayudante, falta de motivación, mano de obra no cualificada.</p>
---	---------	---	--
