

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Aplicación de la metodología DMAIC junto a la herramienta Last Planner System en un proyecto de construcción de casas de carácter social

Emilio López López

Alexis Fabian Moyolema Salazar

Ingeniería Industrial

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
INGENIERO INDUSTRIAL

Quito, 28 de Mayo de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Aplicación de la metodología DMAIC junto a la herramienta Last
Planner System en un proyecto de construcción de casas de carácter
social**

**Emilio López López
Alexis Fabian Moyolema Salazar**

Nombre del profesor, Título académico

Sonia Valeria Avilés Sacoto, M.Sc., D.Sc.

Quito, 28 de Mayo del 2021

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Emilio López López

Código: 00134975

Cédula de identidad: 1720027612

Nombres y apellidos: Alexis Fabián Moyolema Salazar

Código: 00134334

Cédula de identidad: 1803863834

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

Resumen

Tanto la metodología DMAIC, como la herramienta Last Planner System, están relacionadas con la filosofía Lean, mismas que pueden ser aplicadas al sector de la construcción para identificar los distintos tipos de desperdicios en los procesos constructivos, reconocer actividades que generan cuellos de botella y retraso en el cronograma de planificación, y así generar alternativas y medidas para mitigarlos. El presente estudio se enfoca en la mejora de procesos constructivos, mediante la metodología DMAIC en conjunto con la herramienta Last Planner System en una empresa constructora de viviendas de interés social en Ecuador. La constructora presentaba el problema de tener un exceso de reprocesos en dos de sus principales procesos constructivos, los cuales eran infraestructura inicial y levantamiento de paredes, que a su vez generaban retrasos en los cronogramas de trabajo, cuellos de botella y desperdicios. A través de las fases de la metodología DMAIC se identificaron aquellas actividades, que generan retrasos y reprocesos, siendo la falta de amoladoras disponibles en los distintos puntos de trabajo el principal responsable. Como parte de la fase de implementar se usó el software Flexsim, para realizar una simulación del esquema de trabajo de la empresa, en términos del armado y colocado de arranques. Gracias a los resultados de la herramienta de simulación aplicada, se obtuvo que la solución óptima consistía en tener disponibles 3 armadores de arranques, 3 amoladoras, 2 máquinas de preparación de ganchos y 3 operadores que transporten arranques. Fue posible un aumento de un 84,84% en la producción de arranques diarios, disminución de un 74,84% de arranques dañados, y en la disminución de 48,14% de arranques reprocesados, así como una disminución de 16 días en la ejecución de la actividad del armado y colocado de arranques. De igual manera, el uso de la herramienta Last Planner System permitió abordar los problemas por falta de la amoladora, así como identificar posibles causas de retraso futuras, mediante el análisis del cronograma de ejecución de actividades. De esta manera se liberan restricciones de distintas índoles como: prerequisites, mano de obra y material, así como determinar y cuantificar las causas de no cumplimiento de tareas, y el porcentaje de actividades completadas, para realizar un plan de mejora continua a futuro.

Palabras clave: Variabilidad, Lean, DMAIC, Ishikawa, Sigma, Arranques.

Abstract

The DMAIC methodology, and the Last Planner System tool, both related to the Lean philosophy, can be applied to the construction sector to identify the different types of waste in construction processes, recognize activities that generate bottlenecks and delay in the planning schedule, and thus generate alternatives and measures to mitigate them. This study focuses on the application of the DMAIC methodology jointly with the Last Planner System tool in a social housing construction company in Ecuador. The company had the problem of high number of re-processes in two of its main construction processes, which are the initial infrastructure process, and building the walls process, which generated delays in work schedules, bottlenecks, and waste. Through the phases of the DMAIC methodology, those activities that generate delays and reprocesses were identified, being the main cause the lack of available angle grinders at the different workstations. Flexsim software was used as part of the implementation phase, with the aim of simulating the work frame of the project in terms of the process of assembling and placing of the steel rods. Through the results of the applied simulation tool, it was found that the optimal solution consisted of having 3 steel rod assemblers, 3 angle grinders, 2 hook preparation machines and 3 steel rod transport operators available. It was possible to increase 84.84% in the production of steel rods in a daily basis, a 74.84% decrease in damaged steel rods, and a 48.14% decrease in reprocessed steel rods, as well as a 16-day decrease in the execution of the activity of the assembly and placement of steel rods. Similarly, the use of the Last Planner System tool made it possible to address the problems of the grinder, and to identify possible causes of future delay, through the analysis of the schedule of execution of activities. Thus, restrictions of different kinds are released, such as: prerequisites, labor and material, as well as determining and quantifying the causes of non-fulfillment of tasks, and the percentage of activities completed, to carry out a continuous improvement plan in the future.

Key words: Variability, Lean, DMAIC, Ishikawa, Sigma, Steel rods.

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción	11
2	Objetivos	14
2.1	Objetivo General	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	Revisión de Literatura	14
3.0	Metodología DMAIC	14
3.1	Lean Construction: Last Planner System	15
4	Caso de estudio	17
5	Selección de la Metodología	18
6	Fase de Definir	19
6.1	Procesos Constructivos	19
6.2	Project Charter	19
6.3	SIPOC	20
6.4	Análisis de reprocesos de cada macroproceso	21
6.5	Definir: Macroproceso de Infraestructura inicial	22
6.5.1	Infraestructura Inicial: Ruta crítica.	22
6.5.2	Infraestructura Inicial: Análisis de actividades que generan reprocesos	23
6.5.3	Infraestructura Inicial: CTQ's	23
6.6	Definir: Macroproceso: Levantamiento de Paredes	24
6.6.1	Levantamiento de paredes: Análisis de actividades que generan reprocesos 24	24
6.6.2	Levantamiento de paredes: CTQ's	25
6.7	Enunciado del Problema	26
7	Análisis del problema 1: Infraestructura inicial, armado y colocado de arranques..	26
7.1	Tamaño de Muestra	27
7.2	Fase Medir: Plan de medición	28
7.2.1	Análisis de arranques mal armados	28
7.2.2	Tiempo de reproceso de armar y colocar arranques.	28
7.2.3	Nivel Sigma	29
7.3	Fase de Analizar: Infraestructura inicial, armado y colocado de Arranques.	30
7.3.1	Análisis de tipos de reprocesos en armado y colocado de arranques	30
7.3.2	Infraestructura inicial: Análisis de causa y efecto de longitud de arranques 31	31
7.3.3	Infraestructura inicial: 5 ¿Por qué? longitud de arranques	31
7.3.4	Impacto de reprocesos en el armado y colocado de arranques	32
8	Análisis del problema 2: Levantamiento de Paredes, Delimitación de Arranques	32

8.1	Fase Medir: Plan de medición.....	32
8.1.1	Análisis de reprocesos de arranques fuera de delimitación	33
8.1.2	Análisis de tiempo en corregir arranques fuera de delimitación.....	33
8.1.3	Análisis de arranques fuera de delimitación y tiempo de corregir arranques fuera de delimitación.....	34
8.2	Fase analizar: Levantamiento de paredes, delimitación arranques dentro de timbrado	34
8.2.1	Análisis de tipos de reprocesos en delimitación de arranques dentro de timbrado	34
8.2.2	Levantamiento de Paredes: Análisis de causa y efecto de delimitación vertical	35
8.2.3	Levantamiento de paredes: 5 ¿Por qué? Delimitación vertical	35
8.2.4	Impacto de reproceso en la delimitación de arranques dentro de timbrado	36
9	Fase Mejorar: Last Planner System (LPS) y Simulación	36
9.1	Capacitación.....	37
9.2	Plan Maestro	38
9.3	Planeación a mediano plazo: Lookahead	38
9.3.1	Lookahead: Análisis de restricciones.....	39
9.3.2	Lookahead: Inventario de Trabajo Ejecutable (ITE).....	39
9.4	Plan de trabajo semanal (PTS).....	40
9.4.1	LPS: Reunión Semanal.....	41
9.4.2	Reunión de control.....	41
9.5	Simulación: As - Is.....	42
9.6	Simulación: To be	43
10	Conclusiones.....	45
11	Limitaciones	48
12	Referencias.....	49
13	Anexos.....	52

Índice de Figuras

Figura 1. SIPOC de los principales Macroprocesos constructivos. (Hecho por los autores)	21
Figura 2. Pareto del total de reprocesos de cada macroproceso. (Hecho por los autores)	21
Figura 3. Pareto de reprocesos del proceso de infraestructura inicial. (Hecho por los autores)	23
Figura 4. Pareto de reprocesos del proceso de levantamiento de paredes. (Hecho por los autores)	25
Figura 5. Primer punto de medición: Armado y colocado de arranques. (Hecho por los autores)	28
Figura 6. Segundo punto de medición: Arranques dentro del timbrado (Hecho por los autores)	33
Figura 7. Comparación de soluciones tanto: As-is y To be. (Hecho por los autores)	43
Figura 8. Tabla comparativa de resultados "As is"- "To be". (Hecho por los autores)	44

Índice de Tablas

Tabla 1: CTQ's clientes internos. (Hecho por los autores)	24
Tabla 2: CTQ's clientes internos. (Hecho por los autores)	26
Tabla 3: Preguntas y respuestas del 5 ¿Por qué? Para longitud de arranques. (Hecho por los autores).....	31
Tabla 4: Preguntas y respuestas 5 del ¿Por qué? Para delimitación vertical (Hecho por los autores)	35
Tabla 5: Equipos de trabajo del LPS (Hecho por los autores)	37
Tabla 6: Resumen de actividades reunión PTS (Hecho por los autores)	41
Tabla 7: Comparación de resultados "As is"- "To be (Hecho por los autores)	45

1 Introducción

Actualmente, el sector económico de la construcción representa un pilar fundamental en la economía del Ecuador, aportando de manera importante al desarrollo del mismo en términos productivos, de empleo y de sistemas de inversión. El aporte económico de la construcción es muy valioso para el PIB, en relación a la atracción de inversión, generación de empleo y valor agregado (Revista Gestión, 2020). En términos del PIB país, este sector aportó con el 8,17% en el 2019 (INEC, 2020) (Ver Anexo 1). De acuerdo a los datos presentados, la construcción representa el quinto sector más importante en aporte al PIB, que, junto a los otros cinco sectores principales, generan un valor cercano al 50% del PIB en el año 2019. De manera similar, en términos de empleo, este sector fue muy relevante, ya que fue el sexto que mayor cantidad de empleos generó en el año 2019. Se puede considerar que el año 2019 fue menor a años anteriores, como en el 2017, que se generó 7,40% del total de empleos del Ecuador.

Estudios recientes realizados por el INEC, demostraron que el sector constructivo venía decreciendo, y como se mencionó anteriormente, en el 2019 cayó con respecto a años anteriores. La suspensión de actividades económicas por motivos de la pandemia de Covid-19 en el 2020, ocasionó impactos negativos en la economía del país, decreciendo el PIB en un 12,4% con respecto al mismo periodo en el 2019 (B.C.E, 2020). En el sector constructivo, el valor agregado bruto (VAB) disminuyó 12,7% en el segundo trimestre del 2020, y el sector financiero otorgó un 77,5 de operaciones crediticias comparado al mismo periodo en 2019 (B.C.E, 2020). Asimismo, la contracción económica afectó a las importaciones de equipo, maquinaria y materiales de construcción, en un valor de 53,7 menor al del 2019 (B.C.E, 2020).

Por otra parte, las viviendas de interés social (VIS), tienen características y reglamentos específicos en cada país. En el Ecuador, se considera que una VIS, debe tener menos 65 m³ (Miduvi, 2020). Adicionalmente el valor de venta no excederá los \$40000 USD.

Adicionalmente, en Ecuador por un periodo largo de tiempo, ha existido un déficit de viviendas, sobre todo de carácter social, con un porcentaje de 15,20% en el año 2015 (Primicias, 2017). En los últimos años, ha existido una contracción en el sector de la construcción, provocado por la recesión que vive el país, ya que se implementaron salvaguardas, aumentado el coste de materia prima y equipos (Primicias, 2017). Mediante distintos planes gubernamentales para reducir el déficit de vivienda, como “Casa para Todos”, se inyectó capital público lo que permitió dinamizar el sector y que no se desmorone.

Se puede afirmar que en general los proyectos constructivos son considerados muy riesgosos por tener altos índices de variabilidad, porque los procesos no se encuentran completamente estandarizados y el desperdicio de material es significativo, además de que por naturaleza su sistema de producción es complejo (Baccardi,1997). Dentro de este sector, los proyectos de vivienda social, al ser construcciones simples, de tamaño reducido, y cumpliendo necesidades básicas, no generan una alta rentabilidad por unidad vendida (Ulibarri, 2007). Dadas estas características, se puede decir que los proyectos VIS aplican el criterio del mínimo costo (Ulibarri, 2007). Es por esta razón que los costos constructivos son indispensables, por lo tanto, se deben minimizar. Uno de los principales factores que definen el costo de un proyecto es el cronograma y duración del mismo. Usualmente en los estudios de prefactibilidad se analiza los costos del proyecto junto a un cronograma de tiempos de ejecución, que debe ser seguido rigurosamente. Esto se da, ya que, al existir un bajo margen por unidad vendida, y que las VIS suelen construirse en proyectos de un número grande de casas (mayor a 20), es muy probable que los costos aumenten aceleradamente y la utilidad se vea afectada en grandes proporciones (Ulibarri, 2007). Es por esta razón que el cumplimiento del cronograma es fundamental en las VIS.

La investigación presentada a continuación fue llevada a cabo en un conjunto habitacional que estaba en proceso constructivo en la ciudad de Ibarra, Ecuador. Las casas eran

catalogadas como casas de interés social, por tener características específicas como las mencionadas anteriormente. Este proyecto, constaba de 2 etapas: La primera etapa, que contaba con 52 casas, que estaban culminadas listas para la entrega. La segunda etapa, y en donde se realizó el estudio, constaba de 42 casas, que se encontraban en etapas constructivas iniciales, procesos en los cuales se desarrolló el estudio. Cabe recalcar que tanto la primera etapa como la segunda etapa, tenían exactamente los mismos diseños, procesos y características, considerándose así la segunda etapa como una réplica de la primera. Adicionalmente la empresa encargada, había construido 6 conjuntos familiares bajo la misma metodología constructiva, en donde existen diferencias mínimas la configuración de las casas, los procesos constructivos y en la disposición de estas en el conjunto.

A lo largo de los distintos proyectos constructivos, la metodología y el esquema de trabajo ha sido netamente empírico, es decir que el manejo general de los proyectos y todo lo que estos involucran, se han hecho en base a la experiencia. Es por esta razón que los principales procesos constructivos, los cuales son: Cimentación, paredes, lozas, y enlucido de obra gris con resanados, han presentado inconvenientes, relacionados directamente a reprocesos, desperdicios y actividades no completadas. Este conjunto de problemas, a su vez generan retraso en los cronogramas de planificación, lo que genera costos de mano de obra y materiales, así como incumplimiento en la fecha límite de entregas de las casas.

Es por esta razón que se ha escogido la metodología DMAIC, para encontrar y cuantificar la causa de los principales problemas en los cuatro principales procesos constructivos mencionados, y así optimizar recursos, impactando así en el cronograma. Adicionalmente, en la fase de implementar, se usará el Last Planner System, elaborando una guía del mismo que permita identificar las causas de los cuellos de botella y retrasos en los procesos constructivos, y así, se logre tomar acciones correctivas que minimicen los retrasos y que se cumpla la planificación y ejecución de las actividades constructivas de viviendas de interés social.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Aplicar la metodología DMAIC, junto a la herramienta: "Last Planner System" para controlar la planificación y el tiempo de ejecución de actividades de un proyecto de construcción de casas de interés social.

2.2 Objetivos Específicos

1. Compilar la información necesaria para levantar las fases del proceso constructivo.
2. Identificar y evaluar las actividades críticas dentro del proceso constructivo, que generan retrasos, desperdicios, cuellos de botella, entre otros.
3. Elaborar una guía en base a la herramienta "Last Planner System" en la fase de mejorar como parte de la metodología DMAIC.
4. Justificar la implementación de la metodología "Last Planner System" en DMAIC.

3 Revisión de Literatura.

3.0 Metodología DMAIC

DMAIC forma parte de Lean Six Sigma que fue introducido por Motorola por el ingeniero Bill Smith en la década de los 80. Hoy en día, Lean Six Sigma representa la mejora continua de los procesos llegando a tener 3.4 DPMO, que son los defectos por millón de oportunidades, el cual es la esencia base de Six Sigma considerando la campana Gaussiana y los niveles sigma.

Existen revistas que introducen los conocimientos de Lean Six Sigma en la construcción como: 'Construction Process measurement and improvement' (Picard, 2002) que relata la manera de manejar los procesos constructivos a través de la mejora continua, siendo como soporte fundamental el uso del software MS Project Manager, lo que podría no ser un enfoque puro de la filosofía Lean Six Sigma, sin embargo, es una base para complementar la

metodología DMAIC para gestionar el proceso constructivo. Otro artículo similar es 'Implementing and Applying Six Sigma in Construction', donde su estudio se basa en la iniciativa de la calidad aplicable a la industria de la construcción. En este, se presentó sugerencias en cambios desde la gerencia, capacitaciones relevantes y compromisos de los trabajadores para los proyectos, además un enfoque especial en los acabados internos mejorando notablemente la calidad, de 2.66 sigma a 3.95 sigma. Estos dos casos de estudios tienen dos enfoques diferentes, pero se puede afirmar que es factible y acertado usar la metodología de Lean Six Sigma en la construcción (Pheng & Hui, 2004).

El sector de la construcción, hace unos años estaba experimentando un decrecimiento en la productividad, debido a que existe un intento de los entes regulatorios en mejorar la seguridad, establecer un estándar de calidad, y alinear las reglas constructivas, mediante aumentar normas y requisitos (Teicholz, 2004). De acuerdo Fernández (2010), si bien la normativa sirve de regulación, al mismo en el campo laboral se traduce a tres aspectos negativos clave: complejidad de procesos, variabilidad e incertidumbre. Estos tres impactos, generan a su vez problemática en el flujo de trabajo del proyecto constructivo, en el aumento del riesgo, y el desperdicio (Koskela, 1992).

3.1 Lean Construction: Last Planner System.

Existen estudios que permiten ver la aplicación del Last Planner System, haciendo un vínculo entre la teoría y la práctica, de esta manera se puede establecer una referencia acerca de los resultados que fueron obtenidos. En su publicación, 'Aplicación del sistema de control de producción The Last Planner System (LPS) a un proyecto de construcción: Caso de estudio en Quito, Ecuador', Revelo y Fiallo (2002) estudian la aplicación del LPS en un proyecto de vivienda en Ecuador de 102 casas familiares con una duración de 193 días calendarios. Dada las características de la persona y del proyecto en sí, resultó indispensable involucrar a todo el personal, desde directivos hasta la mano de obra, en capacitaciones que duraron cerca de 40

horas (Fiallo y Revelo, 2002). Este aspecto de involucrar a todo el personal puede variar dependiendo de la cultura organizacional de la empresa, ya que en su estudio: Aplicación del LPS a Construcción Civil Pesada en Korea. Este proyecto introduce el LPS en la construcción del metro subterráneo, donde Kim afirma que, en la etapa de capacitaciones y difusión de conceptos, los gerentes de proyectos fueron segregados (Kim, 2005).

En el proyecto de vivienda, una vez establecidas las programaciones maestras, los lookaheads (actividades que deben hacerse próximamente) y las programaciones semanales realizadas, se ejecutó el LPS durante 23 semanas. En la primera semana, el indicador de porcentaje de actividades planeadas y completadas (PPC) fue de 41%, representando una baja productividad y cumplimiento de hitos, con resultados a largo plazo críticos (Fiallo y Revelo, 2002). Este resultado concuerda con el proyecto del metro en Korea, donde la PPC en la etapa más temprana del LPS resultó en 62%. Al realizar ajustes y seguir implementando conceptos LPS, se notó un crecimiento considerable, como lo menciona la teoría, en ambos proyectos constructivos. Una vez terminado el primer mes en el proyecto de viviendas, el indicador PPC aumentó en 103%, logrando un total del 83% de cumplimiento de actividades programadas, y la mejora fue notable a lo largo de la duración del proyecto (Fiallo y Revelo, 2002). Esto se da por una relación no lineal positiva entre la ejecución del LPS y los resultados obtenidos (Ballard, 2000). Durante las dos últimas semanas de la implementación del LPS, se obtuvieron los mejores resultados, obteniendo un PPC de 95%, y se puede afirmar que el 5% fue por motivo de causas no asignables (Revelo, 2002). Por otra parte, en relación al proyecto constructivo de Korea, el PPC alcanzó el 85% en la octava semana, y el mejor resultado histórico (Kim, 2005). A partir de ese punto, el indicador PPC en promedio fue 78% en las siguientes semanas (Kim, 2008). A menudo las organizaciones no pueden mejorar su PPC, ya que la mejora constante de productividad también involucra que se debe asignar más recursos para mantener el ritmo de trabajo, ya que al existir optimización, la capacidad de trabajo

aumenta. Para mantener el PPC alto, se debe tener la filosofía de mejora continua, pero muchas veces es difícil de conseguir ya que las mejoras deben suceder en un período corto de tiempo, lo que demanda alta flexibilidad organizacional, y sobre todo muchos recursos económicos que deben ser asignados de manera inmediata (Koskela, 2000).

4 Caso de estudio.

El presente proyecto se llevó a cabo en una constructora especializada en casas de interés social. La empresa cuenta con amplia experiencia en esta especialidad, ya que ha construido 6 conjuntos familiares, todos bajo la misma metodología constructiva, en donde existen diferencias mínimas en la configuración de las casas, los procesos constructivos y en la disposición de estas en el conjunto. Por otra parte, en los distintos proyectos realizados la metodología constructiva ha sido manejada de manera empírica, sin un enfoque de toma de decisiones en base a análisis de procesos. Por esta razón se han generado reprocesos, desperdicios y actividades no completadas en las fases constructivas del proceso, lo que a su vez, causa retrasos en los cronogramas de planificación, aumenta el costo de mano de obra y materiales, porque necesitan implementar más recursos para tratar de alcanzar lo propuesto y existe incumplimiento en la fecha límite de entregas de las casas.

En base a un análisis que se realizó de los proyectos que tiene la constructora dentro de sus últimos años de operación, desde mediados del 2012 hasta finales del 2020, se pudo notar que realizaron un total de 324 casas, perteneciendo a 6 contratos. (Ver Anexo 2).

A continuación, se realizó un análisis de los tiempos de ejecución de cada proyecto vs el tiempo real, y así verificar que contratos fueron cumplidos e incumplidos. Adicionalmente se puede mencionar que cada proyecto tiene 20% de tiempo adicional antes de considerarlo como atraso, el cual es un acuerdo de la constructora con el cliente. De esta manera, se consideró los contratos históricos que sobrepasaron el 20% de tiempo de adicional, como se

muestra en el Anexo 3. Se pudo notar que el 83%, es decir 5 proyectos se cumplieron, y que solamente 1 proyecto excedió el tiempo de gracia, siendo este el 17% del total.

Adicionalmente se analizó los tiempos de ejecución del último contrato (Contrato 6), que se divide en dos etapas. La primera está constituida por 52 casas, y culminó a finales del año 2020. Dentro del proyecto de vivienda, existían cuatro macroprocesos constructivos que constituían la parte medular de la construcción de las casas. Estos eran: infraestructura inicial, levantamiento de paredes, armado de lozas y resanados de obra gris y enlucidos. Se debe considerar que los tiempos de ejecución de toda la obra para la etapa 1 fueron estipulados de 21,6 meses plazo, pero por cuestiones de la pandemia y la crisis sanitaria, lo concluyeron en 24 meses.

5 Selección de la Metodología

La metodología Lean Six Sigma, tiene múltiples ramas que pueden ser consideradas como herramientas y extensiones de la misma, como es el caso del DMAIC. Esta ‘sub-metodología’ es usada repetidamente como una opción para mejorar aspectos como procesos productivos, incremento de niveles de calidad, reducción de tiempos, reducción de desperdicios, reducción de costos, entre otros. Sus etapas consisten en: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

De igual manera, el Last Planner System (LPS) pueda ser considerada una herramienta relativamente nueva. Esta pertenece a la filosofía de Lean Construction, que en términos generales consiste en mejorar el flujo de la producción, sus variables y parámetros. Uno de los problemas principales que se ataca es la eliminación continua y sistemática de actividades que no agregan valor, que son sinónimo de distinto tipos de desperdicios (Ballard, 1997). En definitiva, el Last Planner System, está diseñado para respaldar y proteger las unidades que se producen y el proceso productivo de la incertidumbre (Ballard y Howell), y ha sido comprobado que es efectivo para mejorar la fiabilidad del plan de producción (Alarcón, 2008).

Dado que la metodología DMAIC y LPS, brindan beneficios que pueden ser aplicados a cualquier tipo de proceso, se decidió usar las 4 primeras fases del DMAIC, en combinación con el LPS, herramienta de Lean Construction en la fase de Mejorar, creando así una metodología adaptable a los proyectos constructivos. De esta manera, se identifican aspectos críticos del proceso constructivo, que generan retrasos y desperdicios. Es necesario recalcar que este estudio no incluye la fase de implementar por las características intrínsecas del proyecto, que se encuentra en fase de construcción. Por otra parte, el estudio también excluye la etapa controlar dadas las restricciones de tiempo en el que se lleva a cabo este estudio.

6 Fase de Definir

El objetivo principal de esta fase es buscar los factores críticos de la calidad (CTQ's), los cuales se pueden tomar como parámetros definidos por la constructora. En este caso se tomó como referencia de la voz del cliente (VOC), a los clientes internos, siendo estos los que definen los CTQ's (Ponz, 2012). Estos se detallarán en las siguientes subsecciones.

6.1 Procesos Constructivos

Para poder entender la metodología de trabajo de la constructora, así como sus macroprocesos constructivos, se realizó un levantamiento de procesos, que fueron diagramados en notación: Business Process Model and Notation (BPMN). Como se mencionó en el punto anterior, los macroprocesos son: Infraestructura inicial, levantamiento de paredes, construcción de losas y resanados de obra gris. Para la diagramación de los macroprocesos, se toma en cuenta únicamente los dos primeros, ya que son los críticos en el flujo constructivo, como se explica en las siguientes subsecciones. (Ver Anexos 4, 5, 6, 7)

6.2 Project Charter

Se realizó un Project Charter para detallar los aspectos relevantes, el cual sirven como guía para el desarrollo de las fases del estudio. Los parámetros que se tomaron en cuenta fueron:

Nombre del proyecto, directores del proyecto, justificación, objetivo, requerimientos, recursos, stakeholders, estimación de riesgos, plan de mitigación de riesgos, estimación de tiempos y supervisores. (Ver Anexo 8)

6.3 SIPOC

Se definió un SIPOC, para recoger detalles importantes de manera general sobre la operatividad de la compañía. En términos de proveedores, principalmente se encontraron distribuidores de maquinaria y materiales constructivos. Como entradas se tuvieron detalles sobre el personal contratado para la ejecución de obra, firma de acuerdos con clientes, materiales constructivos, y permisos gubernamentales. Los macroprocesos, parte central del estudio, que se analizarán y son parte del proyecto son: Infraestructura inicial, levantamiento de paredes, construcción de losa, y enlucido y resanado de obra gris, donde el encargado es un maestro mayor, que actúa como responsable del sector y como jefe de grupo. Como salidas, la constructora asegura la calidad en cada uno de los procesos constructivos y en el producto final, lo que incluye una cimentación resistente y firme, paredes con alta resistencia sísmica, una distribución de espacio que maximiza la utilización del área disponible, y protección del terminado gris con enlucido de alta duración. Por último, como clientes se tiene a los compradores, así como a las entidades financieras que respaldan el proceso de compra, como se observa a continuación:

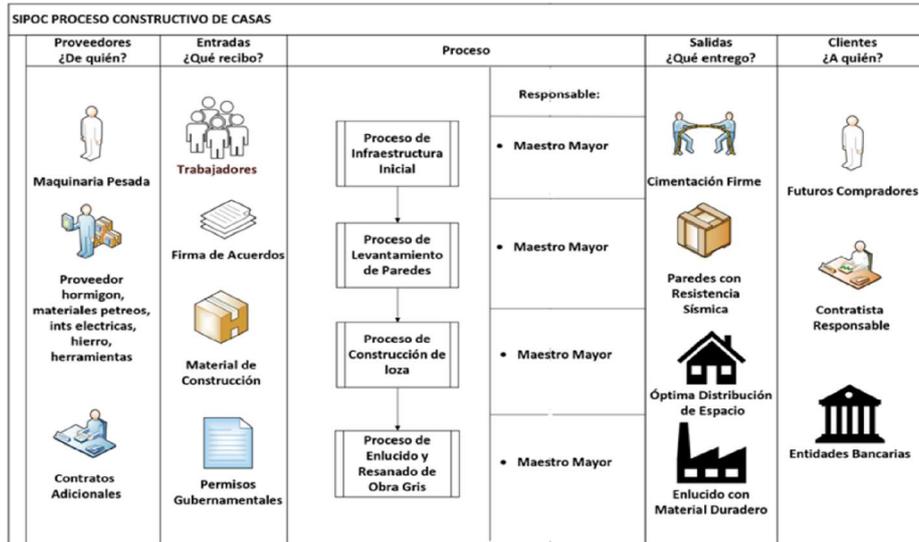


Figura 1. SIPOC de los principales Macroprocesos constructivos. (Hecho por los autores)

6.4 Análisis de reprocesos de cada macroproceso

Se realizó un análisis de Pareto, para determinar el número total de reprocesos por cada uno de los cuatro macroprocesos. Se observó que los procesos de Infraestructura Inicial y Levantamiento de Paredes causan el 40% y 37 % de reprocesos respectivamente, generando así un total de 77%, que en número de eventualidades son 397 y 359 reprocesos respectivamente, como se observa a continuación.

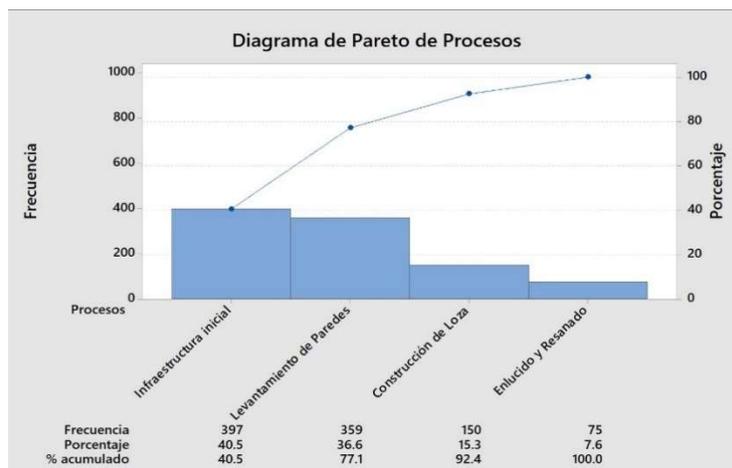


Figura 2. Pareto del total de reprocesos de cada macroproceso. (Hecho por los autores)

Al representar el mayor porcentaje de reprocesos (80% de los reprocesos), se consideró que tanto la infraestructura como el levantamiento de paredes, son las actividades más críticas del proyecto de construcción.

6.5 Definir: Macroproceso de Infraestructura inicial

Dado que se determinó que tanto el macroproceso infraestructura inicial como el levantamiento de paredes, se realizó la primera fase del DMAIC: Definir. Esta etapa se analiza primeramente para la infraestructura inicial y posteriormente para el levantamiento de paredes.

6.5.1 Infraestructura Inicial: Ruta crítica.

En el caso del proceso de infraestructura inicial, se estudió las actividades del macroproceso y se analizó su ruta crítica para determinar actividades que generan inconvenientes en términos de tiempos de ejecución. Se determinó que las actividades que eran posibles candidatos a generar retrasos y cuellos de botella eran: la excavación y delimitación; que tuvo un tiempo de ejecución de 3 días, y que era un prerequisite para 9 actividades del macroproceso. La siguiente actividad, el encofrar para fundir muros base, representa el pilar de la cimentación, ya que delimita longitudinal y transversalmente el área de fundido, por lo que reprocesos en este punto, afecta la cantidad de material que ingresa en el proceso y tomó 8 días. Por último, la tarea de armar-colocar arranques, que no fue un prerequisite indispensable para actividades en la infraestructura inicial, pero que representó la parte medular del proceso de levantamiento de paredes, ya que son elementos estructurales que soportan las paredes. Adicionalmente, los posibles reprocesos en el armado y colocado de arranques, debido a la gran cantidad de elementos a procesar y colocar, es una potencial actividad que generó retrasos, y que tomó 6 días. En la ruta crítica, las actividades problemáticas están subrayadas en gris, y compuestas de barras rojas. (Ver Anexo 9)

6.5.2 Infraestructura Inicial: Análisis de actividades que generan reprocesos

Se prosiguió a estudiar más a profundidad, qué actividades son las que generan retrasos de manera significativa, en términos de reprocesos, junto a su frecuencia y su aporte porcentual, usando un diagrama de Pareto, como se muestra a continuación:

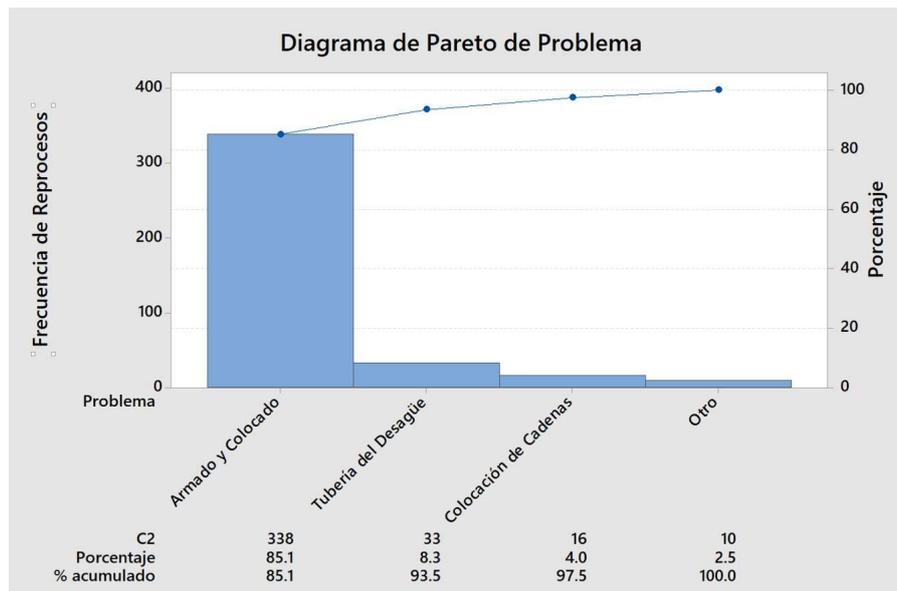


Figura 3. Pareto de reprocesos del proceso de infraestructura inicial. (Hecho por los autores)

Se puede determinar que existen un número de 338 reprocesos de la actividad de armado y colocado de arranques lo que representa un 85,1% del total de reprocesos, lo cual mostró que es una actividad problemática. Esta tarea, representa un paso vital en el macroproceso de infraestructura inicial, ya que en cada casa deben armarse y colocarse exactamente 170 arranques, que están sujetos a estándares y características específicas, las cuales se estudian en secciones posteriores. Debido a la cantidad de tareas a ejecutarse en la actividad mencionada y a la cantidad de reprocesos encontrados, y según con la regla 80-20, se la selecciona para estudiarla a profundidad para generar acciones de mitigación y soluciones.

6.5.3 Infraestructura Inicial: CTQ's

Se llevó a cabo una entrevista con el gerente de planta para determinar los CTQ's, que son de carácter interno, ya que la voz del cliente es cada uno de los trabajadores y a su vez fueron

definidos como parámetros de la constructora, incluyendo el personal de gerencia. A continuación, se muestra los CTQ's usados en el análisis del macroproceso de infraestructura inicial.

Tabla 1: CTQ's clientes internos. (Hecho por los autores)

Proceso	CTQ's	Medida
Infraestructura Inicial	-Tiempo en armar un lote de arranques.	# arranques armados * 0.96 segundos
	- Porcentaje del número incorrecto de arranques colocados.	$\frac{\# \text{ arranques incorrectos.}}{\text{Total de arranques colocados}} * 100\%$
	- Tiempo total de correcciones por armado y colocado.	# tiempo de corrección * # corregidos

6.6 Definir: Macroproceso: Levantamiento de Paredes

Al igual que en el punto anterior estudió los tiempos de ejecución de las actividades del macroproceso y se analizó su ruta crítica para determinar de manera gráfica posibles cuellos de botella. Se observó que se tiene 6 actividades que deben ser analizadas a profundidad debido a su naturaleza de generar posibles retrasos. Estas actividades son: Verificar número de mallas (2 días), verificar base de los arranques dentro del timbrado (3 días), colocar mallas de paredes (4 días), verificar perpendicularidad (2 días), colocar refuerzos de esquinas (2 días), y fundición de paredes (4 días). Fue fundamental el uso de esta herramienta, ya que se puede visualizar los prerrequisitos en términos de actividades las secuencias. La ruta crítica, se determinó a partir de la herramienta MS Project (Ver Anexo 10).

6.6.1 Levantamiento de paredes: Análisis de actividades que generan reprocesos

De la información obtenida por la ruta crítica, se realizó un Pareto para profundizar en las actividades críticas y determinar la frecuencia y aporte porcentual de estas en términos de reprocesos en conjunto con la información que entrega la ruta crítica. Se encontró que existen un número de 235 reprocesos en la actividad de arranques dentro de la delimitación, que

representa el 64% de reprocesos. Por lo tanto, para el macroproceso de levantamiento de paredes, la actividad que debe ser analizada a profundidad es: arranques dentro de delimitación. Adicionalmente, fue importante tomar en cuenta que la cantidad de arranques a delimitar son 240 por casa, ya que se verifica su colocación tanto de manera vertical como de manera horizontal, punto que se discutirá en las siguientes subsecciones. Por otra parte, la siguiente actividad en términos de reprocesos, es la ubicación de cajetines, que tiene un total de 22,6% de reprocesos, y en cada casa se colocan 53. Por lo tanto, dado que en la actividad de arranques dentro de delimitación se tiene mayor cantidad de elementos, la probabilidad de que existan reprocesos es mayor a la de ubicación de cajetines, punto que se comprueba en el diagrama de Pareto que se muestra a continuación:



Figura 4. Pareto de reprocesos del proceso de levantamiento de paredes. (Hecho por los autores)

6.6.2 Levantamiento de paredes: CTQ's

Los CTQ's que se definieron para el proceso de levantamiento de paredes, al igual que en la infraestructura inicial, fueron de carácter interno en base a las necesidades de los clientes internos de la compañía y en función a los procesos y actividades que se desarrolla en cada etapa del proceso constructivo. Los CTQ's que se usaron para estudiar el macroproceso en el levantamiento de paredes se detallan a continuación:

Tabla 2: CTQ's clientes internos. (Hecho por los autores)

Levantamiento de paredes	-Porcentaje de arranques dentro de la delimitación. -Tiempo en corregir arranques fuera del delimitado-	$\frac{\text{\#arranques fuera de delim.}}{\text{Total de arranques colocados}} * 100\%$ $\text{\#tiempo de corrección} * \text{\#irregularidades}$
--------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

6.7 Enunciado del Problema

En base al análisis desarrollado anteriormente, existe un exceso de reprocesos tanto en la infraestructura inicial, como en el levantamiento de paredes, en las actividades de colocación de arranques y al momento de verificar los arranques dentro de la delimitación. Estas eventualidades se detectaron al momento de realizar un levantamiento de procesos y estudios de datos para la realización del presente trabajo, desde el 01 de febrero del 2021 hasta el 20 de marzo del 2021. Se determina que el 77% de los reprocesos se encuentran en infraestructura y levantamiento de paredes que tienen un aporte porcentual del 40% y 37% respectivamente. Adicionalmente, en el caso de la infraestructura inicial, se tienen 338 reprocesos en la colocación de arranques lo que representa un 85,1% de inconvenientes en este macroproceso. Por otro lado, en el macroproceso de levantamiento de paredes, se encontraron un número de 235 reprocesos en la actividad de arranques dentro de la delimitación, que representa el 64% de reprocesos. Estas cantidades se obtienen gracias a los análisis con la herramienta de ruta crítica y Paretos en cada macroproceso y en cada actividad crítica.

7 Análisis del problema 1: Infraestructura inicial, armado y colocado de arranques.

En base a los análisis realizados previamente, se debe tomar en cuenta que la infraestructura inicial fue el primer macroproceso que presentó la mayor cantidad de reprocesos, por lo tanto, debió ser analizado a mayor profundidad. Adicionalmente, dentro de este macroproceso, la actividad de armado y colocado de arranques fue considerada la más crítica. A continuación, se realiza el análisis con énfasis en esta actividad.

7.1 Tamaño de Muestra

Fue necesario realizar un estudio acerca del tamaño de muestra, con el fin de determinar el número de casas que se debe estudiar para obtener los datos relevantes que muestren una realidad representativa de la población para poder inferir acerca de la misma. A continuación, el cálculo:

$$N = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

(Fernández, 2010)

$$N = \frac{42 * 1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,10^2 * (42 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5} = 13$$

Los parámetros que se muestran corresponden a los necesarios para el cálculo del tamaño de muestra, donde z_{α}^2 se utilizó un 95% de confianza y como p o la proporción esperada es desconocida, sabemos que por literatura es común usar un valor de 0.5. En términos del error se utilizó un valor de 10% ya que esta es una práctica común estándar en los proyectos constructivos (Fernández, P. 2010). De acuerdo con lo mencionado, el tamaño de muestra resultante fue de 13 casas para el estudio pertinente. Se debe tomar en cuenta que este tamaño de muestra se usó para todos los estudios subsiguientes.

Por otro lado, se usó el tamaño de muestra finito ya que la etapa dos del proyecto es de 42 casas. Para el valor de p, el cual es la probabilidad de éxito, ya que por literatura si esa probabilidad no es conocida usualmente se coloca el 0.5 como valor de referencia y finalmente q es igual a (1-p).

7.2 Fase Medir: Plan de medición

Esta zona de medición fue definida en base a la gran cantidad de reprocesos en el proceso de cimentación, desde el momento que se armaban cada uno de los arranques, hasta que se colocaban amarrados a las cadenas, como se muestra a continuación:

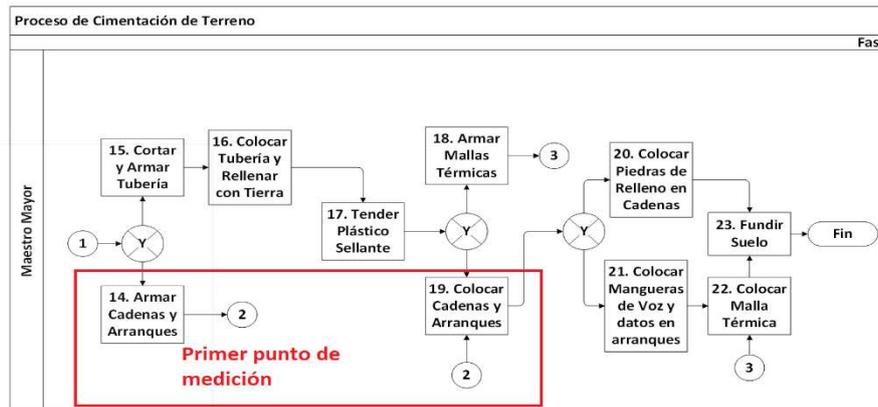


Figura 5. Primer punto de medición: Armado y colocado de arranques. (Hecho por los autores)

7.2.1 Análisis de arranques mal armados

Se realizó un Figura de barras para cuantificar el número de arranques que fueron mal armados por cada casa, tomando en cuenta que cada una contiene 170 arranques. Se determinó que existe un alto número de arranques mal construidos para las 13 casas, donde, en la casa 6 se tuvo la mayor cantidad de irregularidades, con una frecuencia de 42 representando 24% de arranques mal armados, seguida de la casa 4, con 40 irregularidades, representando 23% de inconvenientes. (Ver Anexo 11)

7.2.2 Tiempo de reproceso de armar y colocar arranques.

Parte importante del estudio, está relacionado con el CTQ de tiempo total que demora la corrección del colocado y armado de arranques. Como se mencionó en puntos anteriores, esto va en función del tamaño de muestra de casas, que es 13. Para este tamaño de muestra, se pudo observar que 8 casas tienen una cantidad de reprocesos similares, que en tiempo se

traducen entre 68 a 70 minutos por cada casa. Al ser tiempos de actividades que no agregan valor, sino que, por el contrario, son actividades de reprocesos, cada minuto invertido en estas actividades es una forma de desperdicio y genera retrasos en el flujo de actividades (Ver Anexo 12).

7.2.3 Nivel Sigma

Se usó el nivel sigma, que ayudó a identificar el nivel de calidad del proceso y la variación que tiene este, junto a los indicadores de DPMO y rendimiento del proceso. De esta manera, se lo aplicó a la cantidad de arranques que no estuvieron conforme a las especificaciones. Por lo tanto, como primer paso se analizó los criterios de calidad acorde a la experiencia del maestro mayor, y se tomó en cuenta todos los defectos de las 13 casas como tamaño de muestra. Para poder cuantificar el número de arranques que tendrían defectos por millón de oportunidades, se utilizó el DPMO, como se muestra a continuación.

$$DPMO = \frac{1000000 * D}{U * O}$$

Donde,

D = Número de defectos observados en la muestra

U = Número de unidades en la muestra

O = Oportunidades de los defectos por unidad

$$DPMO = \frac{1000000 * 389}{2210 * 1} = 176018$$

$$D = 389$$

$$U = 2210$$

$$O = 1(\text{Gancho})$$

Es decir, que se pueden encontrar 176018 arranques con defectos por un millón de arranques analizados.

Adicionalmente, el DPO se calculó para determinar el número de defectos por oportunidad se tuvo en el armado de arranques, el cual resultó con un valor de 0.176018, por su parte, el desempeño del proceso fue del 82%. De esta manera, de acuerdo con la tabla de conversión de sigma como referencia al desempeño del proceso, se obtuvo un valor de 2.4 de nivel sigma. De esta información se concluye que tanto el DPMO, como el rendimiento, y el nivel sigma de este proceso pueden ser mejorados. Un proceso productivo debe aspirar a tener un nivel sigma de 6 (Socconini, 2020), y un DPMO de 3,4, por lo tanto, este proceso tuvo amplias oportunidades de mejora

$$DPO = \frac{389}{2210 * 1} = 0.176018$$

$$Yield = (1 - DPO) * 100$$

$$Yield = (1 - 0.176018) * 100$$

$$Yield = 82\%$$

7.3 Fase de Analizar: Infraestructura inicial, armado y colocado de Arranques.

Continuando con las fases DMAIC, se continúa con la fase de analizar, aplicada al macroproceso de infraestructura inicial, en la actividad de armado y colocado de arranques, para indagar la causa raíz de los reprocesos.

7.3.1 Análisis de tipos de reprocesos en armado y colocado de arranques

Tomando en cuenta el proceso de infraestructura inicial, con la actividad problemática de armado y colocado de arranques que se mencionó anteriormente, se decidió realizar un Pareto para observar aquellos aspectos de esta actividad que ocasionan la mayor cantidad de reprocesos. Por lo tanto, en el diagrama se pudo observar que la longitud de los arranques

representa 46,5 de los reprocesos, seguido del mal amarre a cadenas con 14,2% y a continuación problemas en el gancho, con 12,3%. Dado que la longitud de arranques fue el error con mayor frecuencia, se estudió a mayor profundidad. (Ver Anexo 13)

7.3.2 Infraestructura inicial: Análisis de causa y efecto de longitud de arranques

Se precisó de información acerca de las posibles razones del alto número de reprocesos en la longitud de los arranques, actividad perteneciente al armado y colocación de arranques en la infraestructura inicial. Para este efecto, se realizó un diagrama de Ishikawa para estudiar las posibles causas de la incorrecta longitud de arranques que generan reprocesos el macroproceso mencionado. Las espinas del diagrama fueron: Máquina, Personal, Método, Material, y Medidas. A continuación, se colocó las causas asociadas a cada categoría. (Ver Anexo 14).

7.3.3 Infraestructura inicial: 5 ¿Por qué? longitud de arranques

Posteriormente, el objetivo fue verificar y validar el problema obtenido de acuerdo al Pareto tipos de reprocesos y validar las causas raíz del problema. De la información obtenida se preguntó se realizaron las preguntas con sus distintas respuestas, como se ve a continuación:

Tabla 3: Preguntas y respuestas del 5 ¿Por qué? Para longitud de arranques. (Hecho por los autores)

Pregunta	Respuesta
¿Por qué un arranque falla en su longitud?	Difícil realizar un corte preciso
¿Por qué es difícil realizar un corte preciso?	Porque la amoladora no está disponible
¿Por qué la herramienta no está disponible?	Porque solo existe una para múltiples frentes
¿Por qué existe solo una amoladora?	Porque se considera costosa

¿Por qué se considera costosa?	Porque no se ha estudiado el costo-beneficio de adquisición
--------------------------------	-------------------------------------------------------------

En base a los 5 ¿Por qué? Se consideró que la falla en la longitud de los arranques se da principalmente por falta de amoladoras en las zonas de trabajo que las requieran. Es común que en la constructora se trate de reducir los costos y por eso exista resistencia a evaluar el costo-beneficio de adquirir un nuevo equipo para los trabajadores

7.3.4 Impacto de reprocesos en el armado y colocado de arranques

Sabiendo que el problema de análisis se enfocó en el armado y colocado de los arranques, el cual causó el 47% de los reprocesos, se realizó un análisis de cuánto tiempo en retraso influyó en la obra. Para este efecto, se tomó en cuenta el tiempo promedio en reprocesar un arranque en la zona del armado, el cual tuvo un valor de 53 segundos. De esta manera, se obtuvo un retraso de 0.4 días laborables para las 13 casas, y tomando estos valores, estimando para las 42 casas, se tiene un aproximado de 1.2 días laborables que se invierte en corregir los reprocesos (Ver Anexo 15).

8 Análisis del problema 2: Levantamiento de Paredes, Delimitación de Arranques

Como se mencionó anteriormente, gracias a los respectivos análisis, el segundo macroproceso que presentó inconvenientes fue el levantamiento de paredes, en donde la actividad crítica consistía en la delimitación de los arranques, obtenido del análisis de Pareto de los cuatro macroprocesos estudiados

8.1 Fase Medir: Plan de medición

El punto de medición que se estudió en el macroproceso de levantamiento de paredes, es la verificación de los arranques fuera de la delimitación. En este punto de medición, se debe

verificar que los arranques se encuentren en la delimitación establecida tanto de manera vertical, como de manera horizontal. El punto de medición se muestra a continuación.

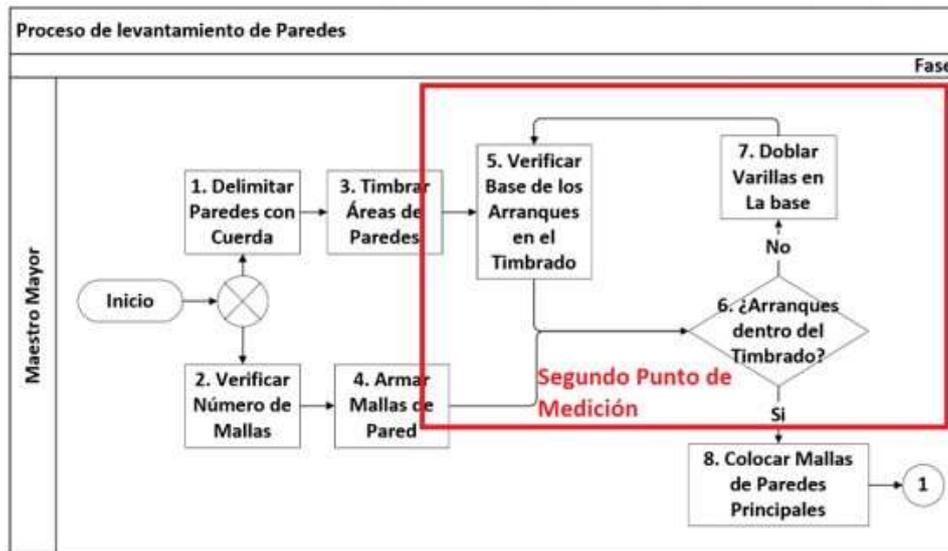


Figura 6. Segundo punto de medición: Arranques dentro del timbrado (Hecho por los autores)

8.1.1 Análisis de reprocesos de arranques fuera de delimitación

Resultó importante cuantificar el número de reprocesos que están ligados a los arranques fuera de la delimitación, segmentados por casa. Se usó un Figura de barras donde se observa en el eje de las abscisas se coloca el número de casa, y en el de las ordenadas la frecuencia de reprocesos en dicha casa. De esta manera, se determinó que la casa 4 tiene un número mayor de reprocesos, con una frecuencia de 26, seguido de la casa 10, con un total de 23 reprocesos, como se muestra en el Anexo 16.

8.1.2 Análisis de tiempo en corregir arranques fuera de delimitación

Dado que se cuantificó el número de reprocesos por casa, también se pudo determinar el tiempo requerido para corregir los arranques que están fuera de la delimitación. Se usó un Figura de barras para determinar el tiempo invertido en corregir reprocesos por cada casa, teniendo en cuenta un tamaño de muestra de 13 casas. Se determinó que la casa 4, es en dónde

se invirtió más tiempo, con un total de 27 minutos, seguido de la casa 7 con 22 minutos. (Ver Anexo 17)

8.1.3 Análisis de arranques fuera de delimitación y tiempo de corregir arranques fuera de delimitación.

Por otra parte, se realizó un diagrama de caja y bigotes para el número de reprocesos al momento de identificar que los arranques se encuentren dentro de la delimitación, y el tiempo en que se tardan en corregirlos, lo que se considera un reproceso. Se observó que en promedio hay un total de 18 arranques que se encuentran fuera de la delimitación y el tiempo que se demora la corrección del reproceso es en promedio 17,5 minutos para cada casa, como se muestra en el anexo 18.

8.2 Fase analizar: Levantamiento de paredes, delimitación arranques dentro de timbrado

Continuando con la fase de analizar del DMAIC, se determinó anteriormente que, dentro del macroproceso de delimitación, la actividad de delimitación de arranques dentro del timbrado fue la más crítica en términos de reprocesos. Por esta razón se requirió encontrar analizar más a profundidad el problema y encontrar la causa raíz.

8.2.1 Análisis de tipos de reprocesos en delimitación de arranques dentro de timbrado

Se consideró pertinente realizar un diagrama de Pareto, para identificar los principales tipos de reprocesos asociados a la delimitación de los arranques, cuantificando su aporte porcentual, así como su frecuencia, con el objetivo de identificar aquella característica del proceso que genera inconvenientes. De esta manera, se obtuvo que la delimitación vertical genera el 52,1% de los reprocesos, por lo que es la actividad que se eligió para analizar a profundidad en las secciones subsiguientes. Tomando la regla de Pareto 80-20, se debió escoger las actividades que generen el 80% de los reprocesos, pero dado el tiempo para la realización

del estudio, las actividades como la delimitación horizontal (12,5% de reprocesos) y el mal timbrado (9,6% de reprocesos), deberán ser analizados en estudios futuros (Ver Anexo 19).

8.2.2 Levantamiento de Paredes: Análisis de causa y efecto de delimitación vertical

Realizar un diagrama de Ishikawa ayudó a comprender las posibles razones o causas para que la delimitación vertical sea el tipo de reproceso con más frecuencia dentro de la actividad de delimitación dentro del timbrado, que a su vez se encuentra en el macroproceso de levantamiento de paredes. Se estableció como efecto que existen reprocesos en el levantamiento de paredes, y las categorías de las posibles causas se asociaron a: Personal, Método, Material y Medidas. Adicionalmente, del análisis de Ishikawa para este macroproceso se encontró que hay varias causas que se repiten del análisis asociado a el armado y colocado de paredes, las cuáles se subrayaron en azul, como se muestra en el Anexo 20

8.2.3 Levantamiento de paredes: 5 ¿Por qué? Delimitación vertical

Con el objetivo de poder profundizar sobre el problema de exceso de reprocesos en la delimitación vertical y llegar a la causa raíz del problema, se usó la herramienta de los ¿Por qué? Las preguntas realizadas a los involucrados en la actividad, junto a sus respuestas se detallan a continuación:

Tabla 4: Preguntas y respuestas 5 del ¿Por qué? Para delimitación vertical (Hecho por los autores)

Pregunta	Respuesta
¿Por qué están mal la delimitación vertical?	Incorrecta longitud del arranque
¿Por qué está mal la longitud del arranque?	Herramienta no es la adecuada
¿Por qué la herramienta no es la adecuada?	Amoladora en lugar de cortadora de hierro
¿Por qué no se corta con amoladora?	No hay disponibilidad de amoladora

¿Por qué no está disponible la amoladora?	No hay suficientes amoladoras para todos los frentes de trabajo
-------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------

Por lo tanto, gracias a las preguntas realizadas, se pudo determinar que no existen las suficientes amoladoras disponibles para los distintos frentes de trabajo, y eso ocasionó que los cortes sean incorrectos y generen reprocesos al momento de inspeccionar que los arranques se encuentren dentro del delimitado vertical. Es importante recalcar que, tanto para los reprocesos del armado y colocado de arranques, como para los de la delimitación, el problema raíz que se encontró fue la falta de amoladoras para realizar la tarea de forma efectiva.

8.2.4 Impacto de reproceso en la delimitación de arranques dentro de timbrado

Tomando en cuenta que se determinó que dentro del levantamiento de paredes, corregir la delimitación vertical de los arranques toma en promedio 23,8 minutos con una desviación estándar de 4,1 minutos, se pudo establecer que el tiempo que toma este tipo de reprocesos es de 999,8 minutos para las 42 casas de la etapa en cuestión. En términos de días laborables, solo en reprocesos, se invierten 2,1 días laborables de 8 horas cada uno, lo que se considera como una pérdida del recurso del tiempo asociado a reprocesos (Ver Anexo 21).

9 Fase Mejorar: Last Planner System (LPS) y Simulación

Para la fase de implementar, o también conocida como mejorar, se usa la herramienta descrita anteriormente, llamada: Last Planner System, un instrumento obtenido de la filosofía Lean construcción, en la que se planifica, controla y da seguimiento a las actividades y cronogramas de los proyectos de construcción. El LPS, consta de 3 fases esenciales que son: Plan Inicial o maestro, Lookahead o plan a mediano plazo y plan a corto plazo o semanal. Para proponer la metodología del LPS y elaborar una guía de ejecución de acuerdo a las necesidades de la constructora Conformación de Equipos de trabajo.

Cualquier metodología nueva dentro de una empresa, necesita aprobación y apoyo por parte de las partes involucradas. De esta manera formar un equipo de trabajo es parte fundamental de la implementación de LPS, ya que ayuda a eliminar barreras, y generar los niveles de compromiso y motivación necesaria para adoptar la metodología. Por esta razón se deben elegir roles y agentes del cambio, como se muestra a continuación:

Tabla 5: Equipos de trabajo del LPS (Hecho por los autores)

Nombre del cargo	Funciones
Últimos planificadores	Planificador de actividades, comunicar necesidades y eventualidades, responsable de macroproceso respectivo
Coordinador LPS	Coordinar reuniones de planificación, inspección de correcta ejecución de actividades, inspección de levantamiento de datos, supervisión de indicadores, inspección de procesos constructivos
Encargado de planificación	Mantener actualizado los niveles de planificación, análisis de restricciones, notificación requerimientos de levantamiento de restricciones, actualización y cálculo de indicadores
Gerente de Planta	Gestionar los requerimientos de levantamiento de restricciones, coordinación de actividades, aprobación de ejecución de actividades, gestión de proveedores y adquisición de materiales

9.1 Capacitación.

La primera etapa que se abordó en esta guía consiste en la capacitación en los conceptos base del LPS, la cual brinda conceptos indispensables para que la implementación sea adecuada, y tenga resultados óptimos. En este punto, se trata de que los agentes participantes tengan un cambio de perspectiva del manejo actual de los procedimientos, y tomen la decisión de adoptar una visión de cambio. Según Alarcón (2009), se deben proponer de 3 a 6 sesiones

planificadas dependiendo del tamaño del proyecto y su duración. Por lo tanto, en esta guía se planificaron 3 sesiones, resumidas en el Anexo 22, en donde se especifica sus duraciones, contenido, y posibles impactos.

9.2 Plan Maestro

El plan maestro consiste en la planificación general de todas las actividades que se deben llevar a cabo en el proyecto, e involucra desde procesos iniciales como permisos gubernamentales, y planeación de la implantación hasta la entrega final a clientes. En el caso de la constructora, el plan maestro ya fue definido al inicio del proyecto, e incluía tanto la primera como la segunda etapa.

9.3 Planeación a mediano plazo: Lookahead

A partir del plan maestro, se seleccionan las actividades que se deben ejecutar en un horizonte de tiempo de 4 semanas como punto de partida la fecha actual. Estas actividades se colocan en la plantilla (ver Anexo 23). En esta plantilla se coloca el código de la actividad, donde el primer número puede ser del 1 al 4 dependiendo si es el macroproceso de infraestructura inicial (1), levantamiento de pared (2), construcción de loza (3), o resanado de obra gris (4). El segundo número que sigue a la coma hace referencia al número de la actividad mostrado en los flujogramas del Anexo 4. A continuación, se coloca la fecha de inicio y fin de la actividad, seguido del tipo de restricción existente que debe ser solventada antes de que se pueda dar inicio a dicha actividad. En términos fecha límite de liberación, se debe colocar la fecha máxima en la cual se deben solucionar las restricciones para evitar retrasos al momento de ejecutar la actividad. Posteriormente se llena los campos de responsable de la actividad y observaciones de las mismas. Gracias a la ejecución del lookahead, se controla y coordina requisitos previos y parámetros para ejecutar actividades en un futuro cercano. Esta etapa permite determinar de manera general las posibles restricciones, y es el punto de partida para analizarlas con mayor detenimiento en el siguiente punto, que es el análisis de restricciones.

9.3.1 Lookahead: Análisis de restricciones

Resulta indispensable que, a partir del análisis de actividades lookahead, se analice las restricciones identificadas, con el objetivo de detectar que una actividad no pueda ser ejecutada dentro del tiempo del cronograma establecido, y así evitar retrasos. De igual manera, se trata de tener la mayor cantidad de restricciones levantadas para tener una reserva de actividades listas para programarse y ejecutarse en caso de que existan eventualidades en otras. Así, las actividades liberadas permiten un flujo de trabajo más eficiente sin cuellos de botella y retrasos. En el Anexo 24 se presenta una plantilla para el análisis de restricciones con ejemplos de la constructora. Esta plantilla es similar a la de Lookahead con la diferencia que elimina los campos de responsables y observaciones, y se agrega el elemento a ser solucionado, junto con la cantidad de unidades del elemento requerido.

9.3.2 Lookahead: Inventario de Trabajo Ejecutable (ITE)

Como parte fundamental del Lookahead, se tiene el Inventario de Trabajo Ejecutable (ITE), que consiste en generar una lista o inventario de actividades y tareas que tienen una alta probabilidad de ejecutarse. Gracias al análisis de restricciones, y a la comprobación de posibles factores de impedimento de ejecución, estas tareas se liberan. Adicionalmente, en el ITE, se añaden aquellas actividades que no pudieron ser ejecutadas previamente, y aquellas que pertenecen la primera semana futura, pero que no tienen restricciones. El ITE es el paso previo inmediato para realizar un plan de trabajo semanal (PTS), donde se pasa del ‘se debe hacer’ al ‘se puede hacer’.

Como se observa en el Anexo 25 se generó una plantilla para el ITE, en donde consta la siguiente información: El código de la actividad, con la estructura mencionada para la plantilla de Lookahead, así como el nombre de la misma en la casilla de ‘actividad’. En la casilla de clasificación se coloca las opciones R, F, A, dependiendo del origen de la actividad. Las actividades que llevaban la “R” se colocaba dado que era una actividad que estaba retrasada,

es decir que debería haber sido ejecutada anteriormente. En el caso de la letra "F" era una actividad que tenía restricciones libres de la semana siguiente, haciendo referencia a 'Futuro'. Por último, se tiene la letra "A", que se refiere a 'Actual', donde se tiene actividades que serán ejecutadas de acuerdo al cronograma establecido en el Lookahead. A continuación, se tiene el número de casa en donde se debe realizar la actividad, así como la fecha de liberación límite, junto con la fecha de liberación real, para determinar si existen retrasos en este aspecto. Es importante mencionar que dependiendo de la naturaleza de la actividad, aquellas que tengan retraso. Es importante tener en cuenta que la codificación de las letras del estado de la actividad (R, A, F) es una política que se maneja con la empresa constructora. En términos bibliográficos no existen reglas a seguir en este punto, por lo que, en el presente estudio, la codificación se maneja a conveniencia de la empresa.

9.4 Plan de trabajo semanal (PTS)

El PTS, en la metodología del LPS, es el último nivel de la planificación, y su función es detallar en mayor nivel el cronograma de ejecución de tareas, ya que contiene las actividades liberadas de restricción que se encontraban en el inventario de trabajo ejecutable (ITE). Los involucrados directos con esta actividad son los últimos planificadores de cada macroproceso, el coordinador LPS, y el encargado de planificación. Es importante mencionar que las actividades deben realizarse en orden de importancia, y que, aquellas actividades clasificadas como "R" de retraso, deben ser ejecutadas con prioridad, en la medida de lo posible. Asimismo, es indispensable realizar un análisis rápido de carga-capacidad, en donde se determine el número de tareas comprometidas no supere la capacidad de procesamiento de las mismas. Es por esto que la presencia del último planificador es esencial, ya que él determinará la capacidad máxima de procesamiento de actividades. Adicionalmente, de manera indispensable, el PTS permite calcular el porcentaje de actividades completadas que se ingresa de manera diaria por el coordinador de LPS. (Ver Anexo 26)

9.4.1 LPS: Reunión Semanal

La reunión semanal, que forma parte del nivel de planificación PTS, se realiza al final de la semana con todo el equipo de trabajo involucrado en el LPS, para abordar todas las aristas de la planificación, estos son: últimos planificadores de cada macroproceso, coordinador LPS, encargado de planificación, gerente de planta. Los puntos a abordar se concentran en las posibles restricciones de las actividades, a pesar de que ya se consideran liberadas al llegar al PTS. Por otra parte, también se analiza el porcentaje de actividades completadas (PAC) y se realiza la nueva planificación semanal. Cabe recalcar que el cálculo de PAC se debe tener listo para presentar antes de la reunión para abordar a las conclusiones y resoluciones sobre el mismo

El primer aspecto a tomar en cuenta es que las reuniones se deben agendar en un horario fijo para todas las semanas, y apegarse a ese cronograma, donde solo habría cambios de horarios o fechas por motivos de fuerza mayor. Con la información obtenida de la plantilla de planificación semanal, se verifica el avance de las actividades, y en caso de haberlas cumplido, se realiza un análisis de las razones de no cumplimiento (RNC) y si existe alguna incidencia en las actividades del PTS de la siguiente semana. Adicionalmente se revisa el avance en la liberación de restricciones en la planeación Lookahead, y observar si existe alguna actividad que pueda pasar al ITE.

9.4.2 Reunión de control

Dado la cantidad de frentes de trabajo, alto movimiento y variabilidad expuestos a lo largo del análisis y desarrollo el presente trabajo, se sugiere realizar una reunión de control los días miércoles, como lo sugiere (Alarcón, 2008). La finalidad es revisar las restricciones de la semana, y observar el avance del PTS, como se muestra a continuación en la tabla de resumen:

Tabla 6: Resumen de actividades reunión PTS (Hecho por los autores)

	Revisión de la semana anterior
--	---------------------------------------

1	Controlar cumplimiento de actividades
2	Calcular Porcentaje Actividades Completadas
3	Analizar Causas de no cumplimiento
4	Acciones correctivas causas de no cumplimiento
5	Definir actividades
6	Tomar acciones sobre actividades críticas
	Preparación programa semanal
1	Revisar restricciones de Lookahead previo
2	Definir el nuevo Inventario de Trabajo Ejecutable
3	Definir Plan de Trabajo Semanal
	Actualización plan Lookahead
1	Presentar lookahead actualizado
2	Revisar restricciones nuevo Lookahead
3	Asignar cargos y responsabilidades del nuevo Lookahead

9.5 Simulación: As – Is

Es importante mencionar que en este punto, se simuló únicamente la parte del armado y colocado de los arranques, que según el análisis realizado fue el problema más frecuente en términos de reprocesos, para el macroproceso de infraestructura inicial. Para ello, se usó el software Flexsim como principal herramienta de informática. Como parte del "As-Is", se modeló la metodología de trabajo que maneja actualmente la constructora considerando como variables el número de trabajadores, las amoladoras disponibles, máquina de gancho y el número de armadores que utilizan para llevar los arranques a la zona del colocado. Una vez que se corrió un día laboral de 8h en Flexsim, se obtuvo los dashboards correspondientes (Ver Anexo 28), donde se obtuvo como resultado un total de 369 arranques hechos en un día laboral

de 8 horas, 216 arranques reprocesados, lo que representa más del 58% del total de arranques, y arranques dañados 65 unidades. En términos de tiempo promedio de espera para la amoladora, en caso de que esté disponible, se obtuvo un valor de 4.49 minutos. Por otro lado, se determinó que la utilización de los operadores resultaba baja por el tiempo de espera generado por la amoladora, donde adicionalmente la mayor parte de tiempo la amoladora estaba bloqueada, lo que resultó en que los trabajadores entren en cola de espera para poder armar los arranques. Para la zona del colocados se colocaron correctamente 189 arranques y 100 incorrectamente, representando el 52,1% de reprocesos

9.6 Simulación: To be

Para el apartado "To be" de la simulación, se usó la herramienta Experimenter, que forma parte del software Flexsim, para construir tres escenarios como posibles soluciones, considerando las variables que se definió en el "As-Is". Además, se usó la herramienta Optimizer Design donde se creó una función objetivo, la cual consistió en maximizar el número de arranques en la zona del armado. Se analizó el resultado como se pudo observar en el Anexo 29, el cual, presentó 20 posibles soluciones donde mostró que la solución 3 era la mejor junto a la solución 16. De acuerdo a este análisis se hizo una tabla comparativa de resultados para los escenarios planteados: "As-Is" y "To be" como se muestra a continuación:

Variables	As is	To be	
	Solución	Solución 3	Solución 16
Número Armadores	4	5	3
Amoladora	1	3	3
Gancho	1	2	2
Operadores llevan Arranques	2	3	3
Costo Total	\$ 2,540.00	\$ 3,620.00	\$ 2,820.00

Figura 7. Comparación de soluciones tanto: As-is y To be. (Hecho por los autores)

Se puede determinar que matemáticamente la mejor solución es la opción 3, donde adicionalmente se realizó un análisis costo-beneficio para evaluar en términos económicos las dos posibles soluciones. Como resultado se determinó que la solución 16 era la más viable, ya que su costo mensual era más bajo (\$2,820.00 vs \$3,620.00). De esta manera se concluye que la opción 16 es la candidata a una posible implementación a futuro. Dado que la solución 16 es la mejor, se analizó los resultados usando dashboards (Anexo 30) donde se verificó los nuevos resultados a comparación del "As-Is". A continuación, se muestra una tabla resumen de comparación de resultados.

As is		To be	
Nombre	Solución	Solución 3	Solución 16
Arranques Armados	369	671	671
Arranques Reprocesados	216	112	112
Arranques Dañados	65	17	17
Arranques Bien Colocados	189	512	512
Arranques Mal colocados	100	126	126
Tiempo de Espera Promedio de Amoladora	4.49	0	0

Figura 8. Tabla comparativa de resultados "As is"- "To be". (Hecho por los autores)

Los resultados de la simulación ayudaron a determinar que en una jornada laboral se pueden hacer hasta 671 arranques y disminuir a 112 el número de arranques para ser reprocesados, resultado que mejora notablemente en comparación al "As-Is". Con estos datos, se tiene que el número de arranques que se pueden generar tiene un aumento del 81,84%, y el número de arranques reprocesados se puede disminuir en 48,14%. Por otro lado, no existen tiempos de espera para las amoladoras, evitando colas y tiempo perdido por amoladoras no disponibles, y se disminuye en un 74,84% el número de arranques dañados. Finalmente, se concluyó que la solución 16 es factible económicamente y tiene un gran impacto en los resultados.

Por otra parte, los días que se necesitan invertir para el armado y colocado de arranques según los tiempos estudiados, en el As-Is, resultan en 11,13 días laborables para las 13 casas del estudio, y si se aproxima este valor a las 42 casas, resulta en 32 días laborables. Gracias a la posible implementación DMAIC, estos valores se pueden reducir a 4 días laborables para las 13 casas y a 16,3 días laborables en un pronóstico para las 42 casas. Esto permite reducir el costo del proyecto, y hacer más eficiente el proceso de armado y colocado de arranques, como se muestra a continuación.

	As Is		To be	
Número	13 Casas	42 Casas	13 Casas	42 Casas
Días Laborables	11.13	32	4.9	16.3

Tabla 7: Comparación de resultados "As is"- "To be (Hecho por los autores)

10 Conclusiones

- El presente estudio tuvo como enfoque los principales macroprocesos constructivos para casas de interés social, los cuales son: Infraestructura inicial, levantamiento de paredes, construcción de losa y resanado-enlucido de obra gris. Mediante la aplicación de la fase Definir del DMAIC, se encontró que de los cuatro macroprocesos constructivos expuestos, la infraestructura inicial y el levantamiento de paredes presentaban el 40% y 37% de los reprocesos respectivamente, generando un aporte porcentual de 77% en total.
- Continuando con un análisis profundo de ambos macroprocesos, en el caso de la infraestructura inicial se determinó que la actividad que genera más retrasos y reprocesamientos es el armado y colocación de arranques. Esta actividad generó el 85% de los reprocesos. Por otra parte, continuando con el segundo macroproceso (levantamiento de paredes), se obtuvo que la actividad que presentaba más irregularidades y fallas era los arranques dentro de la delimitación, la cual representó el 64% de reprocesos. Adicionalmente, dado que las dos actividades mencionadas fueron consideradas las más

críticas, se tomaron para continuar con las siguientes fases del DMAIC (Medir, Analizar, Mejorar).

- En el caso de la infraestructura inicial, aplicando la fase de medir a la actividad de armado y colocado de arranques, se determinó que el proceso era deficiente, gracias al análisis del nivel sigma y sus elementos. Del proceso, se obtuvo que los defectos por millón de oportunidades era 176,017.1, con un Sigma 2.4 y un rendimiento del 82%. De esta manera se concluyó que existía un exceso de inconvenientes en esta actividad, y que el proceso presentaba amplias oportunidades de mejora. Posteriormente gracias a la fase de Analizar en actividad mencionada, donde se ahonda en los problemas, se tuvo la longitud de los arranques era la subactividad crítica, en donde realizando un análisis de los 5 ¿Por qué?, se identificó que las máquinas amoladoras, que cortan arranques, no eran suficientes para abastecer las distintas tareas en múltiples lugares de trabajo, causando que se usen herramientas inadecuadas para el armado de los mismos. El reprocesamiento en este punto de medición se tradujo en un retraso de medio día laboral en el caso de 13 casas, y como aproximación se estimó una pérdida de 1,2 días laborables en las 42 casas del proyecto constructivo.
- Tomando el macroproceso de levantamiento de paredes, donde se aplicó la fase de medir para la delimitación de arranques se pudo observar un promedio de 18 arranques con delimitación incorrecta, lo que se traduce en aproximadamente 19 minutos en reprocesar y corregir dicha actividad. Para dicho reprocesamiento se determinó que en función a los operadores y recursos disponibles, un reproceso de esta actividad puede tomar mínimo 12 minutos, y máximo 26 minutos. Para profundizar en la delimitación de los arranques, se implementó la fase de Analizar del DMAIC, para encontrar aquellas subactividades que generaron conflicto, donde se encontró que el problema estaba en la delimitación vertical de los arranques. Esta subactividad representó el 52% de los reprocesos. Para determinar la

causa raíz se usó la herramienta de los 5 ¿Por qué?, donde la falta de disponibilidad de amoladoras fue la principal causa de reprocesos de la actividad. En términos de tiempo, se encontró que esta causa raíz genera un retraso de 2.1 días laborables de retrasos por reprocesos en el la actividad. Adicionalmente se debe notar que tanto para los reprocesos en la infraestructura inicial, como para el levantamiento de paredes, la falta de disponibilidad de amoladoras son la causa raíz.

- El LPS es una herramienta de Lean Construction que permite el control y seguimiento de actividades para optimizar y asegurar el cumplimiento de actividades dentro del cronograma. Como parte de fase de Mejorar del DMAIC, se realizó una guía de aplicación del Last Planner System (LPS) personalizada para la constructora. Gracias a las herramientas que este ofrece, como indicadores, programa de capacitación, motivación a trabajar en equipo, promover el flujo de información, resulta beneficioso para la constructora. Esto se da ya que además de atacar el problema de la falta de disponibilidad de amoladoras, identifica restricciones y sus fechas de liberación para evitar retrasos, genera información sobre las razones de no cumplimiento de actividades y su frecuencia para su posterior solución, mapea e identifica actividades con posibles retraso y prerrequisitos y prioriza su ejecución. De esta manera la constructora tiene una herramienta integral para el manejo de los tiempos de ejecución del proyecto, así como identificación de puntos críticos, mediante la realización de plantillas personalizadas de las etapas del LPS para facilidad de su aplicación.
- Dentro de los macroprocesos constructivos, la aplicación del DMAIC en conjunto con el Last Planner System puede resultar muy beneficiosa para la empresa. Mediante una simulación se determinó que el número de armadores de arranques, amoladoras, máquinas de ganchos, y operadores transportadores, debería ser de 3, 3, 2, 3 respectivamente. De esta manera el impacto positivo es que el número de arranques que se pueden generar tiene un

aumento del 81,84%, y el número de arranques reprocesados se puede disminuir en 48,14%. Adicionalmente, no existen tiempos de espera para las amoladoras, evitando colas y tiempo perdido por amoladoras no disponibles, y se disminuye en un 74,84% el número de arranques dañados. Dado que el tiempo es indispensable en el proceso constructivo, el tiempo del proyecto, puede reducirse en 16,3 días laborables en un pronóstico para las 42 casas. Por lo tanto la aplicación de DMAIC junto al Last Planner System, resultó efectiva para el proyecto constructivo.

11 Limitaciones

En términos de limitaciones se puede afirmar que realizar la investigación en el contexto de la pandemia Covid-19, dificultó el proceso investigativo, en la fase de toma de datos y en la realización del informe de investigación. Esto se da ya que resulta ineficiente el trabajo, aplicando las medidas de bioseguridad necesarias como distanciamiento físico, realizar reuniones con aforo limitado y en espacios abiertos.

Por otra parte, se debe tomar en cuenta que un proyecto constructivo es un sector con mucha variabilidad, en donde hay numerosos aspectos a tomar en cuenta. De esta manera el tiempo necesario para realizar la investigación necesaria, la recopilación de datos y la aplicación de la metodología DMAIC, que es extensa, resulta limitante.

Por último, se tiene como limitación, el hecho que los miembros que realizaron acabo el presente proyecto, no pertenezcan a la organización, ya que no se tienen la potestad de tomar libremente los datos, asignar recursos de la empresa a la investigación, tomar decisiones, y aplicar la propuesta de aplicación de la metodología DMAIC, junto al LPS en el proyecto. Por lo tanto, queda a discreción de los miembros de la compañía en implementar la presente investigación.

12 Referencias

- AIAG. (2002). *Measurement Systems Análisis (MSA) Reference Manual*. Automotive Industry Action Group.
- Alarcón, L. (2008). *Assesings the impacts of implementing Lean Construction*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- B.C.E. (2020, Marzo). *bce*. Recuperado el Enero 15, 2021, de La economía Ecuatoriana Decreció 12.4% en el segundo trimestre de 2020:
<https://www.bce.fin.ec/index.php/boletines-de-prensa-archivo/item/1383-la-economia-ecuatoriana-decrecio-12-4-en-el-segundo-trimestre-de-2020.m%202021-03-19>.
- Ballard, G. (1996). *Lean construction tools and techniques*. Obtenido de Academia.edu:
https://www.academia.edu/811476/Lean_construction_tools_and_techniques
- Donderis. (2020, febrero). *Aplicación de las tres primeras etapas de la metodología DMAIC para identificar la causa principal de la merma en el proceso de producción de las tortillas de harina de trigo*. Obtenido de revistas.utp:
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/2369>
- Fernández, P. (2010, Enero 12). *Fisterra.com*. Recuperado el Febrero 20, 2021, de DEterminación del Tamaño de muestra:
<https://www.fisterra.com/mbe/investiga/9muestras/9muestras2.asp>
- Gestión Digital. (2020, julio 19). *revistagestion.ec*. Obtenido de La construcción, un pilar de la economía debilitado por la pandemia: <https://www.revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis/la-construccion-un-pilar-de-la-economia-debilitado-por-la-pandemia>

- Hoyos, M. F. (2017, septiembre 10). *redaly.org*. Recuperado el marzo 2021, 09, de Evolución e impacto mundial del Last Planner System: una revisión de la literatura:
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/852/85259531012/html/index.html>
- Hui, L. S. (2004). *Implementing and Applying Six Sigma in Construction*. Obtenido de ascelibrary.org: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282004%29130%3A4%28482%29>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2021, Febrero). *Estadísticas económicas*. Obtenido de ecuadorcifras.gob: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-economicas-3/>
- Kim, Y. a. (2005). *Case study - An application of Last Planner to heavy civil construction in Korea*. Sydney - Australia.
- Koskela, L. (1992). *Application of the New Production Philosophy to Construction*. Center for Integrated Facility Engineering. Standorf - Estados Unidos: Enngineering.
- López, C. (2017). *APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE IMPRESIÓN DE PUBLICIDAD DE LA EMPRESA LVC CONTRATISTAS GENERALES S.A.C., SJL*. Perú.
- Mario, F., & Veronica, R. (2002). *Applying the Last Planner control System to a construction project*. . Quito-Ecuador: Lean Construction.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2020, Octubre). *INSTRUCTIVO DE PROCESOS PARA EL REGISTRO DE PROYECTOS DE*. Recuperado el marzo 2021, 25, de habitayvivienda.gob.ec: <https://www.habitayvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/INSTRUCTIVO-VIS-Y-VIP-OCT-20.pdf>

Picard, H. E. (2002). *CONSTRUCTION PROCESS MEASUREMENT AND IMPROVEMENT*.

Brazil. Recuperado el febrero 2021, 19, de CONSTRUCTION PROCESS

MEASUREMENT: <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-6d44ef5a-e2f2-4695-8cac-ff93080109b3.pdf>

Pons, J. (2019). *Lean Construction y planificación colaborativa metodológica de Last Planner System*. España: Consejo General de la Arquitectura.

Ponz. (2012). *IMPLEMENTACIÓN DE LA FILOSOFÍA SIX SIGMA EN LA CONSTRUCCIÓN*. España: Universidad Politécnica.

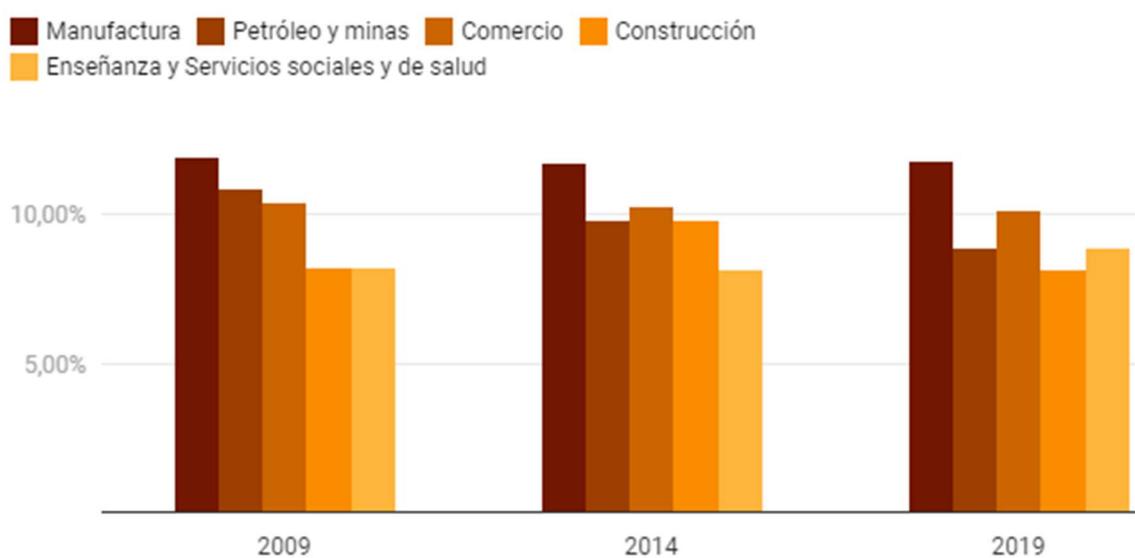
PORWAL, V. (2010, diciembre). *LAST PLANNER SYSTEM – AREAS OF APPLICATION AND IMPLEMENTATION CHALLENGES*. Obtenido de core.ac.uk:
<https://core.ac.uk/download/pdf/4314861.pdf>

Ulibarri. (2007). *Conozcamos el sistema financiero nacional para la vivienda*. Fundación Promotora de Vivienda. San José, Costa Rica. Recuperado el Enero 2021, 16, de fuprovi.org:
https://www.fuprovi.org/files/content/Publicaciones/Conozcamos_el_SFNV.pdf

Wilmer Torres, S. G. (2020, junio 16). *primicias.ec*. Recuperado el enero 2021, 20, de Construir vivienda, una de las opciones para empujar la economía:
<https://www.primicias.ec/noticias/economia/casa-para-todos-opciones-gobierno-reactivar-economia/>

13 Anexos

Anexo 1. Sectores del Ecuador de acuerdo con su aporte porcentual al PIB real. Fuente: Revista Gestión, 2020.



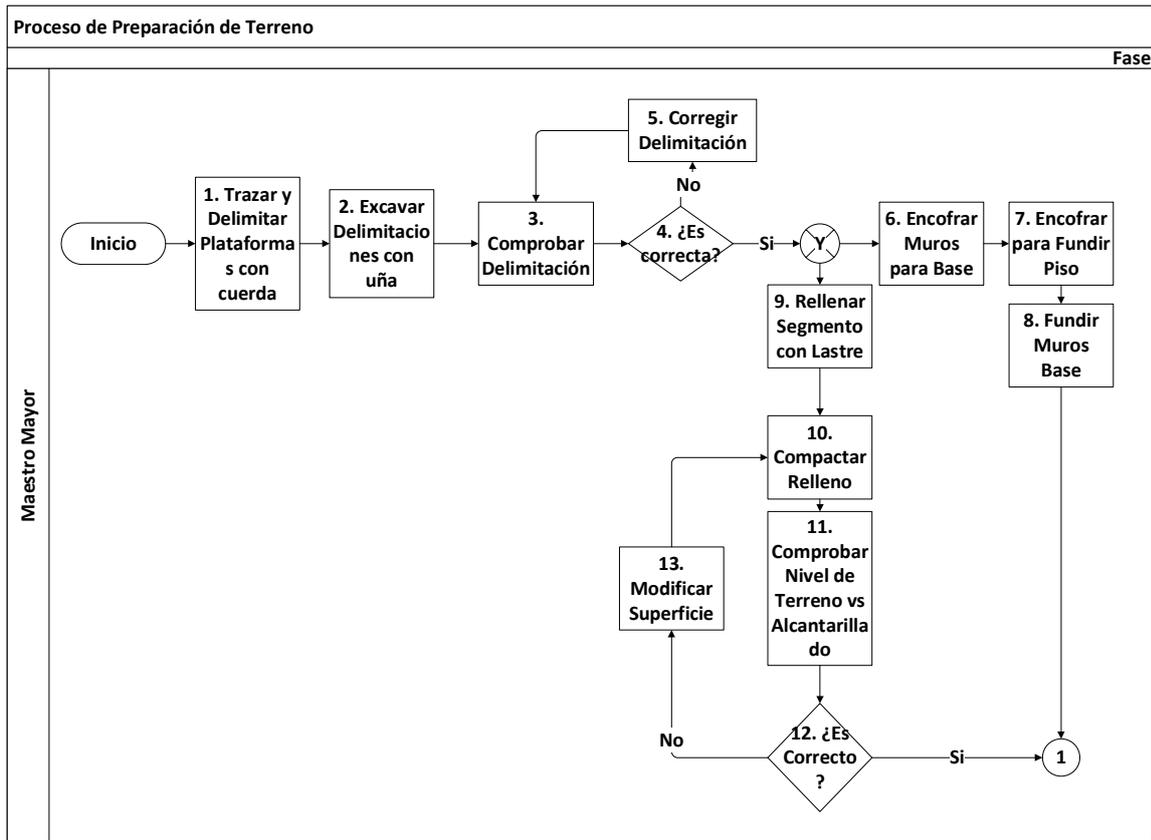
Anexo 2. Número de Casas Construidas por Proyecto (Realizado por los autores)

Contrato	Número de Casas
1	96
2	36
3	32
4	52
5	56
6	52
Total	324

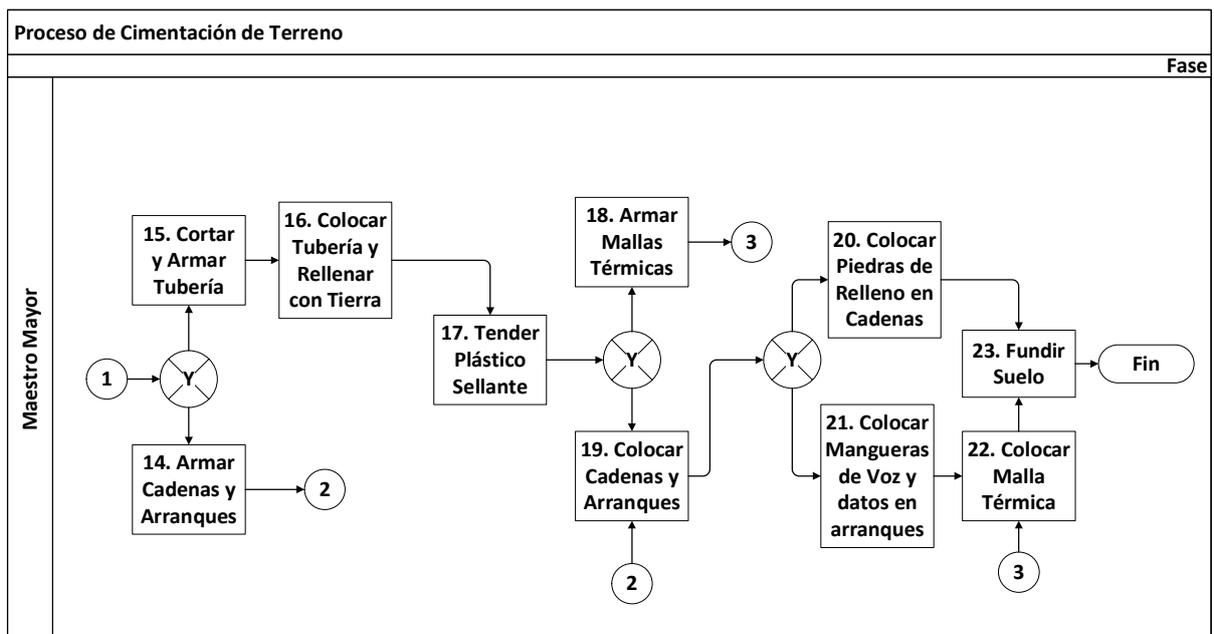
Anexo 3. Porcentaje de cumplimiento de proyectos constructivos con un 20% de tiempo adicional al estipulado. (Realizado por los autores)



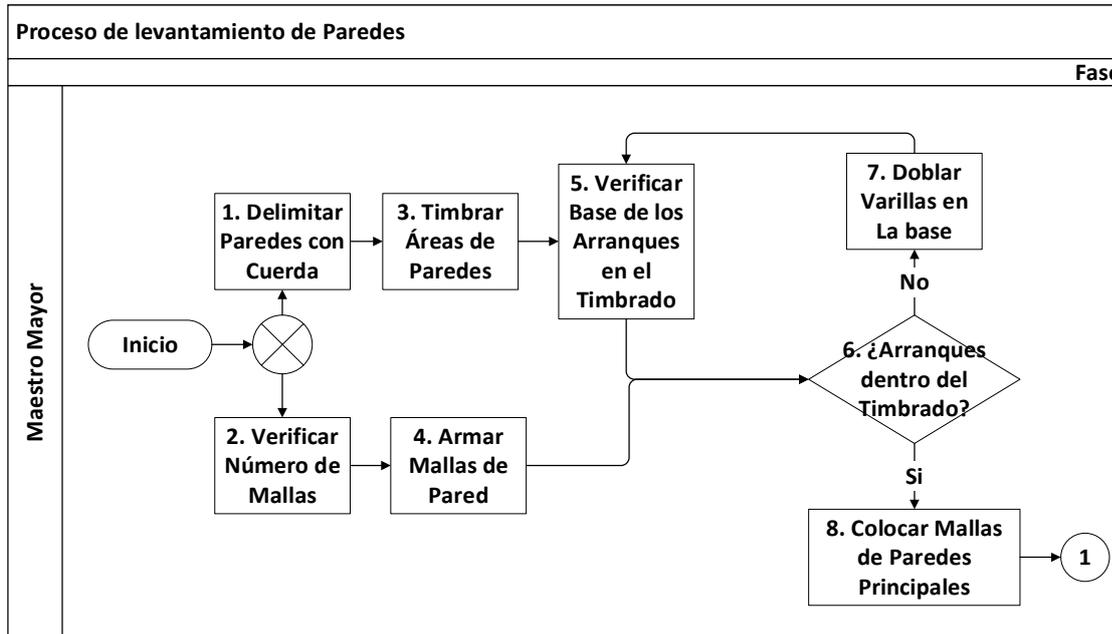
Anexo 4. Diagramación de Proceso de infraestructura inicial parte 1 (Realizado por los autores)



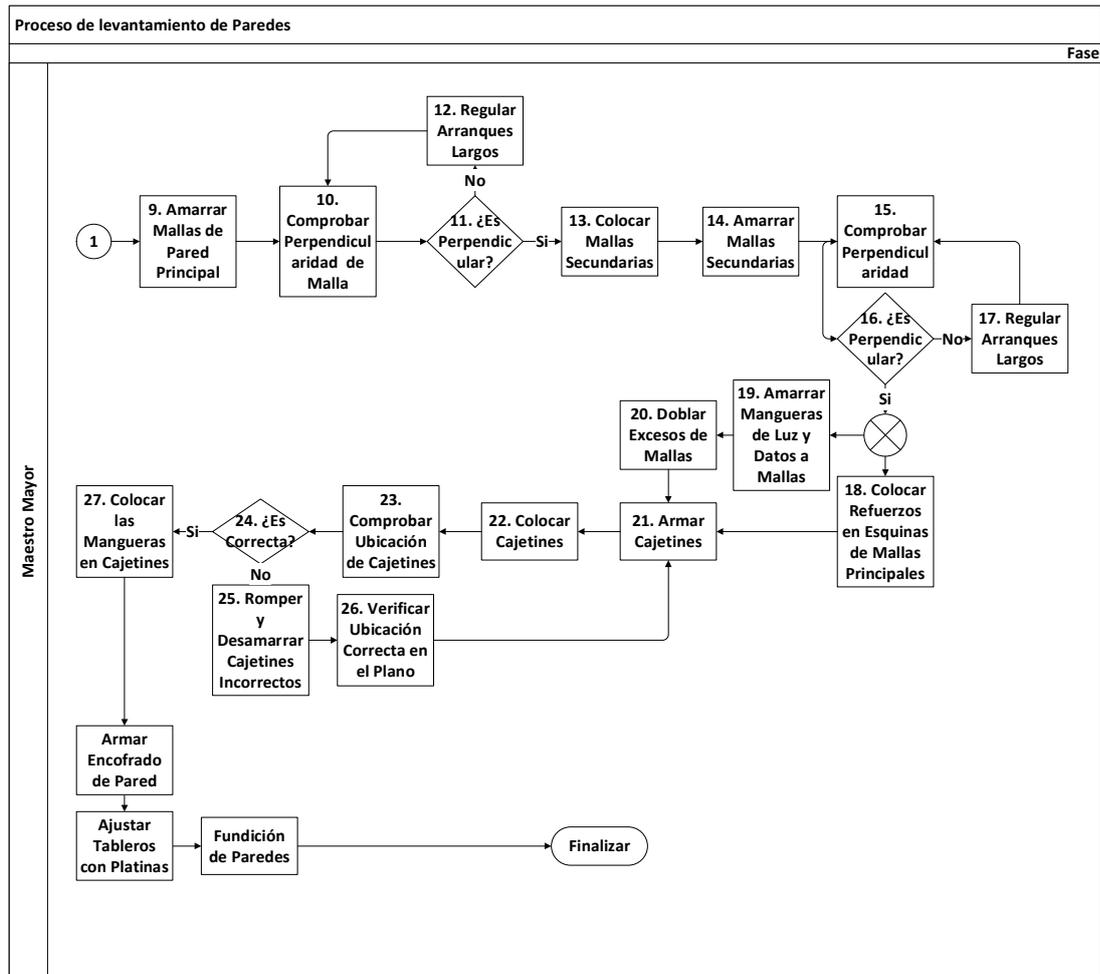
Anexo 5. Diagramación de Proceso de infraestructura inicial parte 2 (Realizado por los autores)



Anexo 6. Diagramación de proceso de levantamiento de paredes parte 1
(Realizado por los autores)



Anexo 7. Diagramación de proceso de levantamiento de paredes parte 2
(Realizado por los autores)



Anexo 8. Project Charter (Realizado por los autores)

Project Charter	
Nombre del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> DMAIC LPS
Directores de Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> Emilio López Alexis Moyolema
Justificación	<p>Los cuatro macroprocesos constructivos representan más del 55,3% del tiempo total de la obra, en la etapa 1. Por lo tanto, el proyecto tuvo como finalidad levantar los procesos y analizarlos a detalle para la etapa 2, con fin de mejorar la planificación de tiempos de ejecución, identificar actividades críticas y generar alternativas de mejora.</p>
Objetivo	<p>Aplicar los conceptos de la metodología DMAIC, junto a la herramienta: "Sistema del último planificador", para controlar la planificación y el tiempo de ejecución de actividades de un proyecto de construcción de casas de interés social.</p>
Requerimientos / Descripción del Producto Final	

Se deseó obtener procesos constructivos optimizados y mejorados, mediante la identificación cualitativa y cuantitativa de factores que incrementan los reprocesos y desperdicios, así como las actividades críticas

Se aplicó las fases DMAIC: Definir, medir, analizar, implementar, usando el sistema del último planificador en la fase de mejorar

Se debe establecer un plan de para analizar el porqué del problema encontrado, con la finalidad de implementar un plan de mejora que optimice los tiempos de los macroprocesos principales, y así generar un impacto en el cronograma de ejecución de actividades.

Recursos Asignados

Dado que el presente trabajo tiene el esquema de un proyecto de titulación en contexto de pandemia COVID-19, no serán necesarios recursos económicos, sin embargo, son de vital importancia recursos tecnológicos como laptops, el cual son de uso personal.

Partes Implicadas o Stakeholders

- Gerencia de la constructora, encargados de brindar un trabajo de calidad y conformidad en cada una de las casas.
- Obreros de la Constructora, Llevan a cabalidad las instrucciones y brindan apoyo al proceso constructivo.
- Director de Proyecto Integrador, guía y aprueba el proyecto de titulación.

Estimación Inicial de Riesgos

- Que no haya un registro exacto de datos requeridos
- Que exista algún caso fortuito o asignable que detenga el proyecto, por ejemplo, por el COVID-19.

Plan de Mitigación de Riesgos

- Constante comunicación con el gerente.
- Realizar las preguntas necesarias a los encargados para las actividades críticas del flujo del proceso.
- Planificar la toma de datos en las actividades elegidas como críticas.
- Seguimiento del cronograma de trabajo

Estimación Inicial de Tiempo

- El proyecto de titulación se desarrolló a partir del mes de enero del 2021 hasta abril del 2021, el cual será finalizado en su totalidad en ese mismo mes.

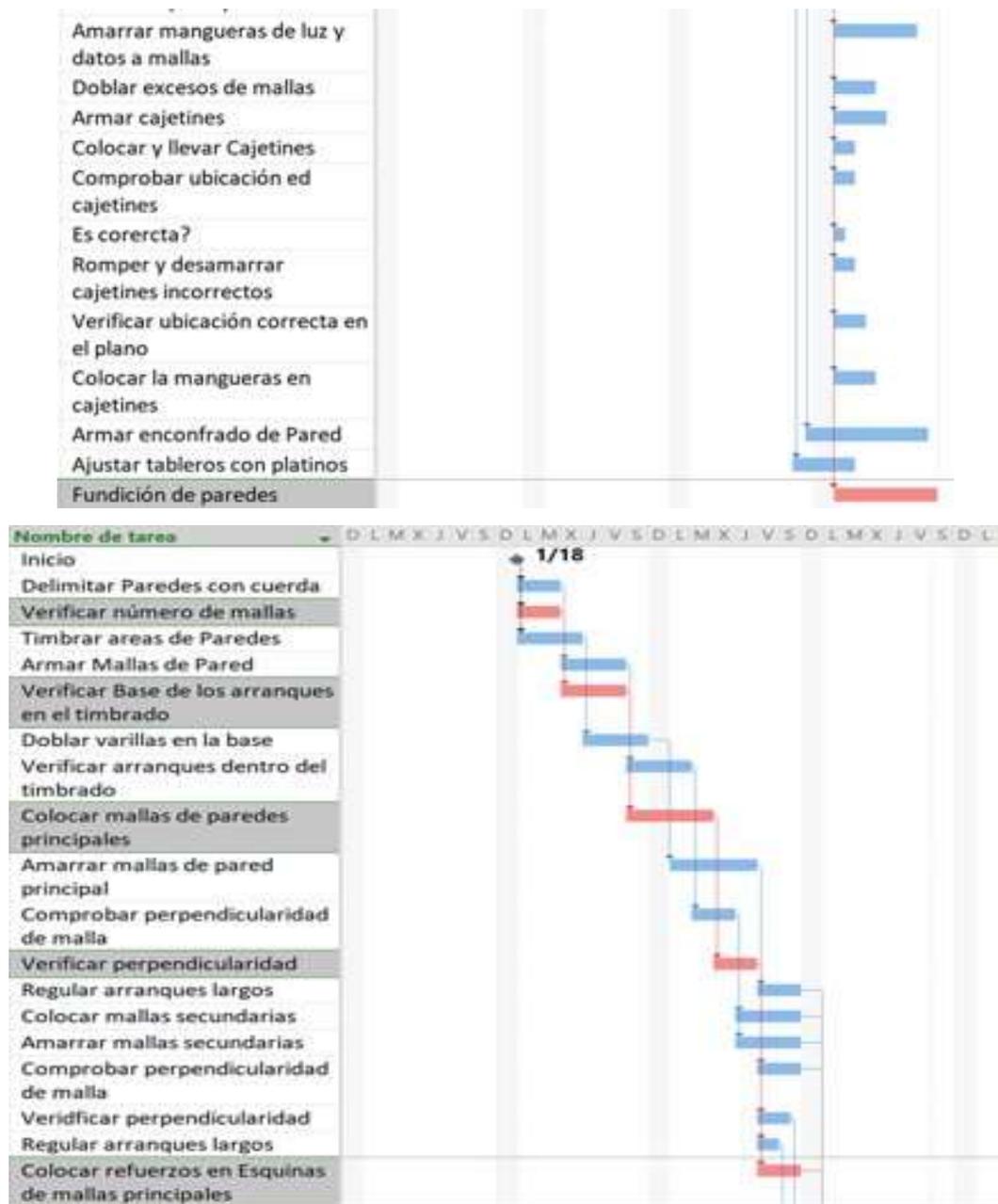
Requerimientos y Responsables de Aprobación

- Gerencia de la Constructora

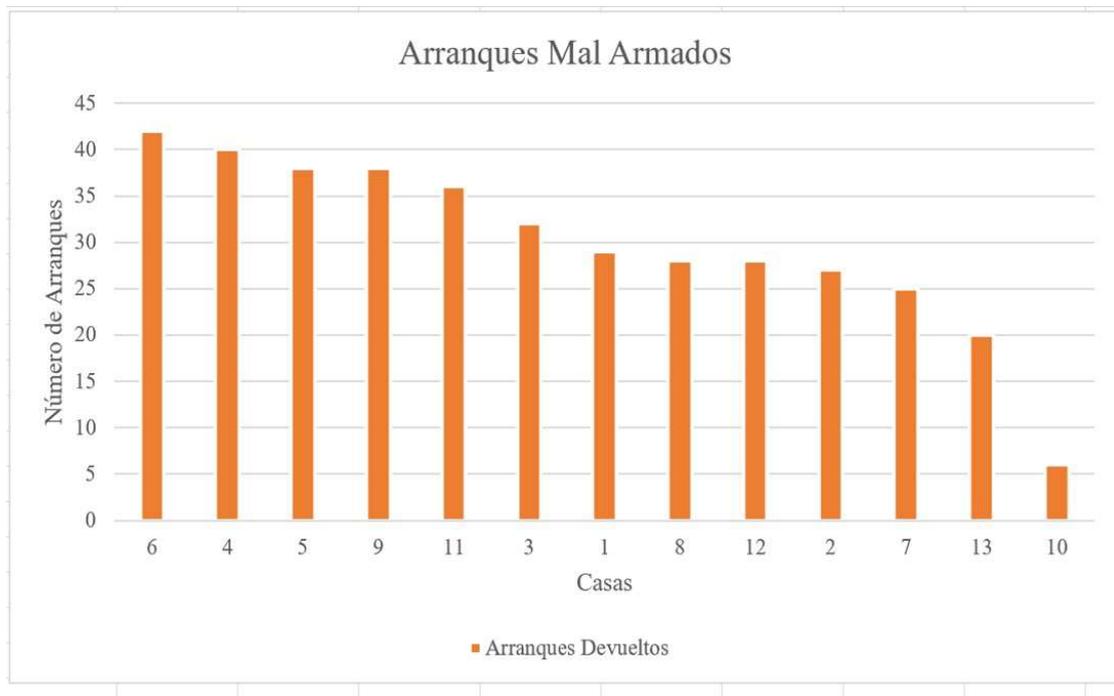
Nombres

Alexis Moyolema y Emilio López

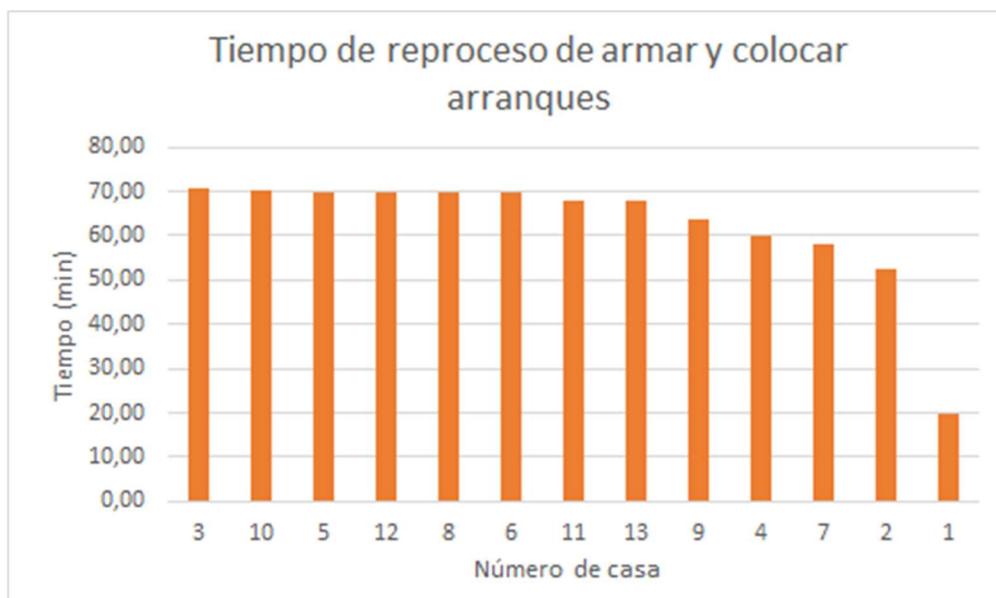
Anexo 10. Ruta crítica para levantamiento de paredes (Realizado por los autores)



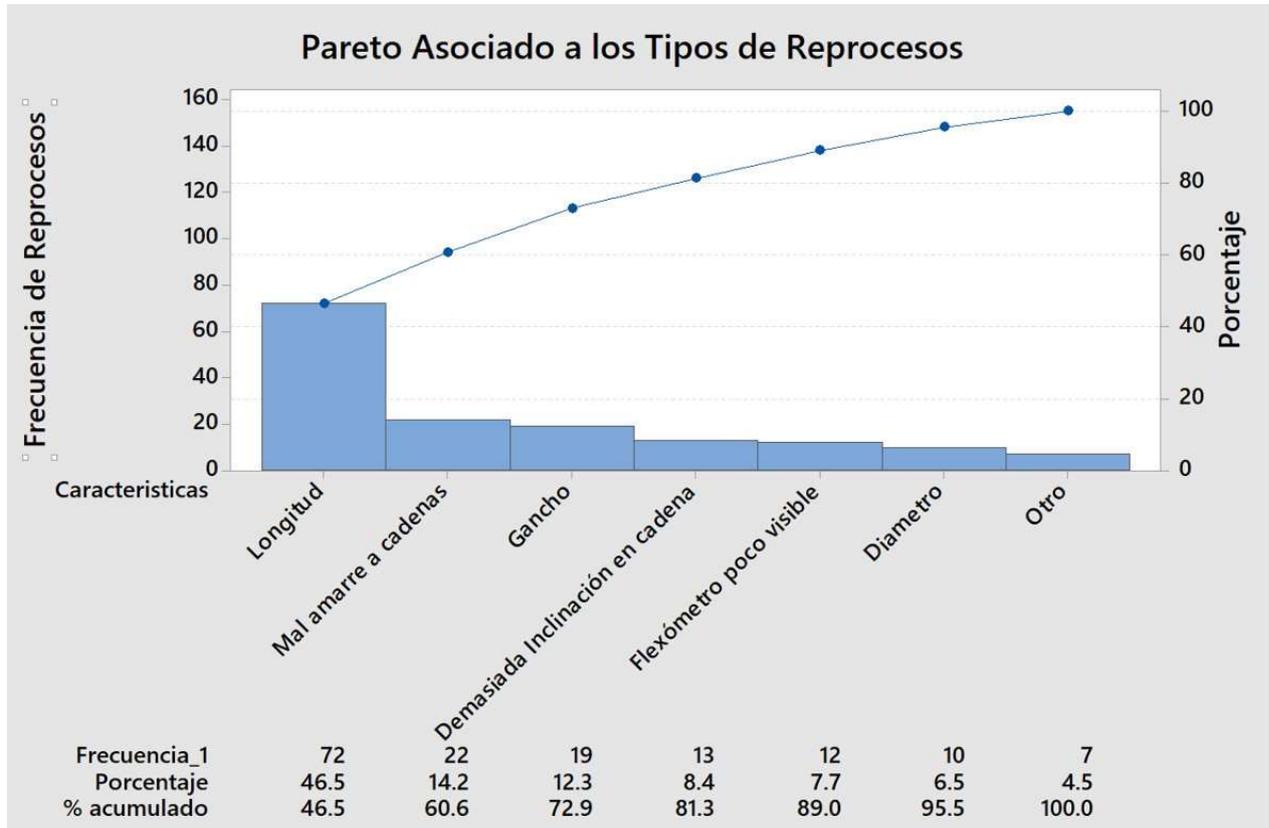
Anexo 11. Número de arranques mal armados por casa (Realizado por los autores)



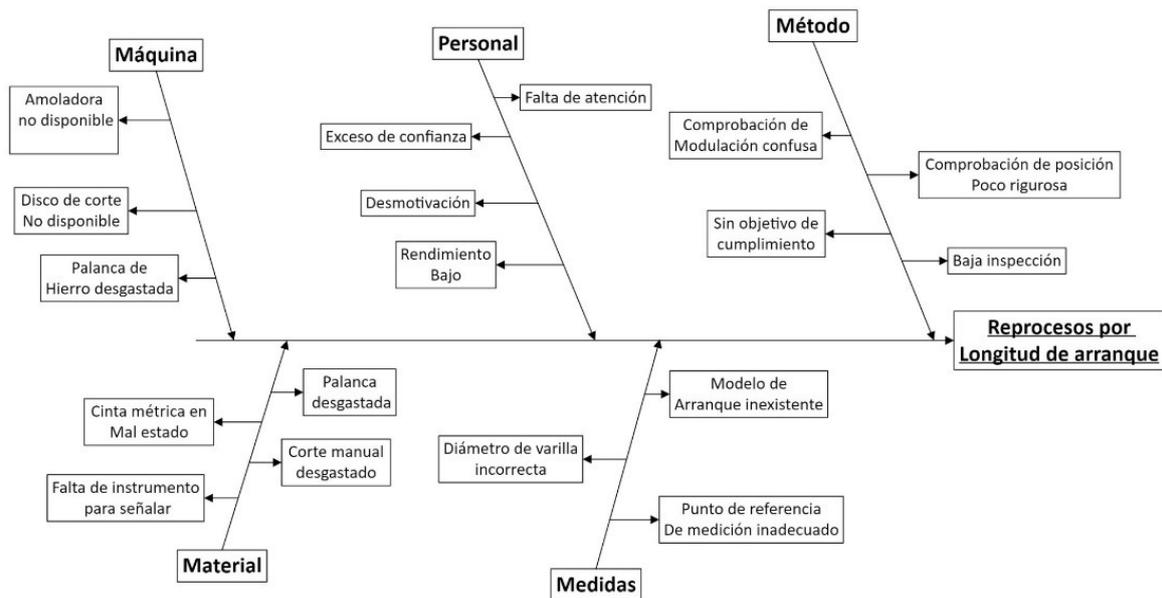
Anexo 12. Tiempo en corregir arranques mal armados por casa (Realizado por los autores)



Anexo 13. Diagrama de caja y bigote para reproceso de mal delimitación de arranques. (Realizado por los autores)



Anexo 14. Diagrama de Ishikawa para punto de medición 1 para Longitud de arranques (Realizado por los autores)

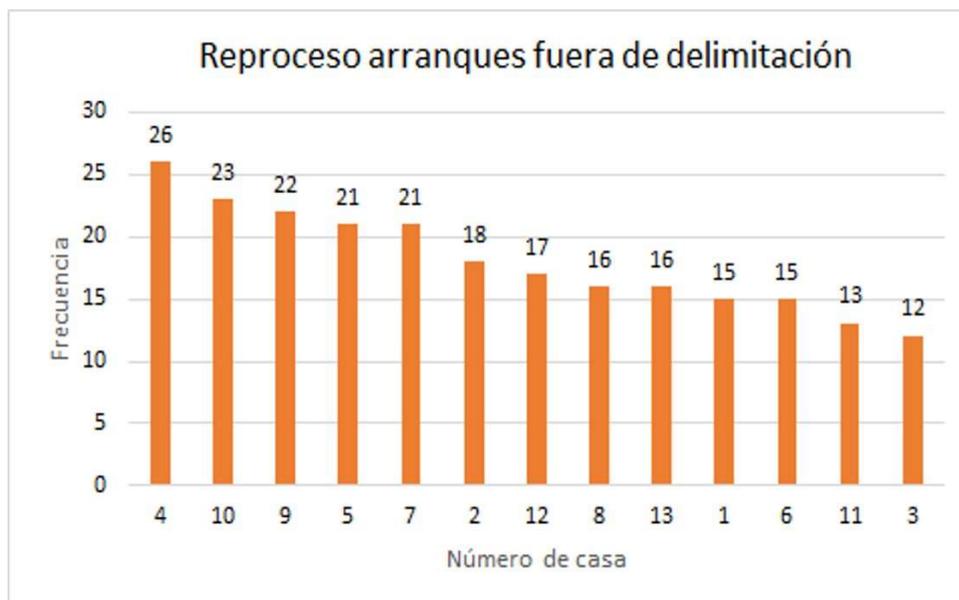


Anexo 15. Cálculo del tiempo requerido en reprocesos para 42 casas (Realizado por los autores)

Armado de Arranques (min)		Colocado (min)	Tiempo distancia recorrida (min)
Promedio	189.9	211.8	9.5
Maximo	201.4	234.0	13.0
Minimo	167.2	197.0	8.0
Desviación Estándar	9.2	10.5	1.4
Para 42 casas	7976.9	8894.3	397.4
Horas	132.9	148.2	6.6
Días Laborales	14.8	16.5	0.7
Minutos de Retraso	1193.9	1025.4	397.4
Horas Retraso	19.9	17.1	6.6
Días Laborales Retraso	2.2	1.9	0.7
Total Retraso Aproximado	4.8		
Días Totales Aproximado	32.0		

Anexo 16. Número de reprocesos para arranques fuera de delimitación por casa.

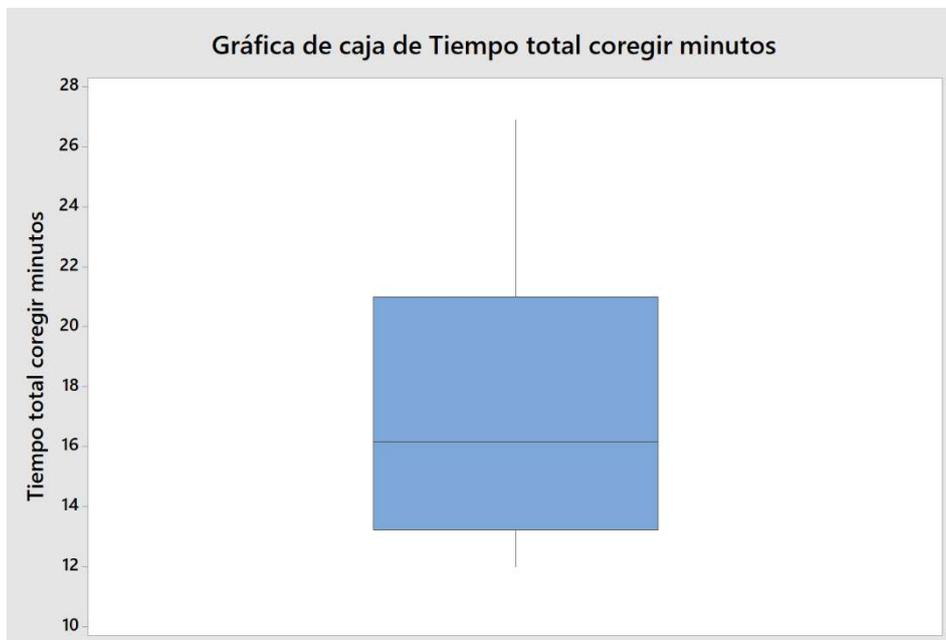
(Realizado por los autores)



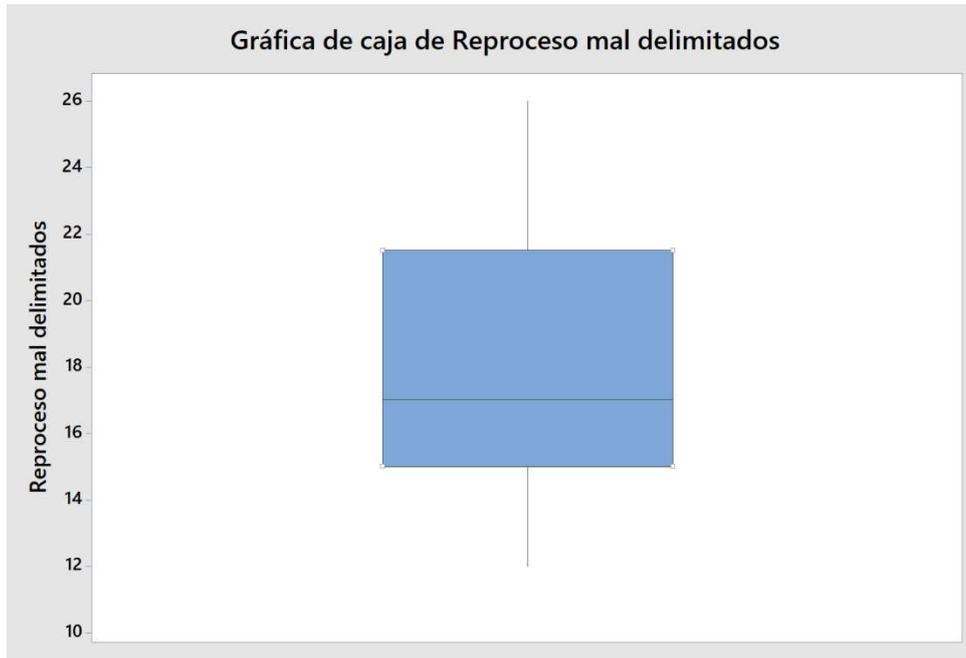
Anexo 17. Tiempo en corregir arranques fuera de la delimitación. (Realizado por los autores)



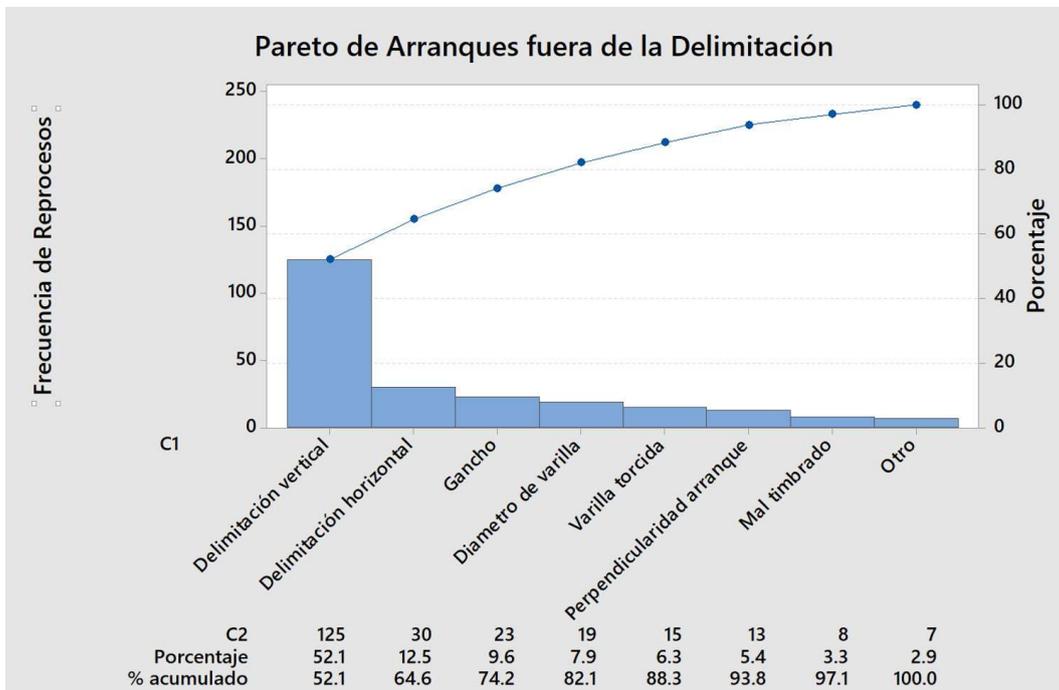
Anexo 18. Diagrama de caja y bigotes para tiempo en corregir arranques fuera de la delimitación (Realizado por los autores)



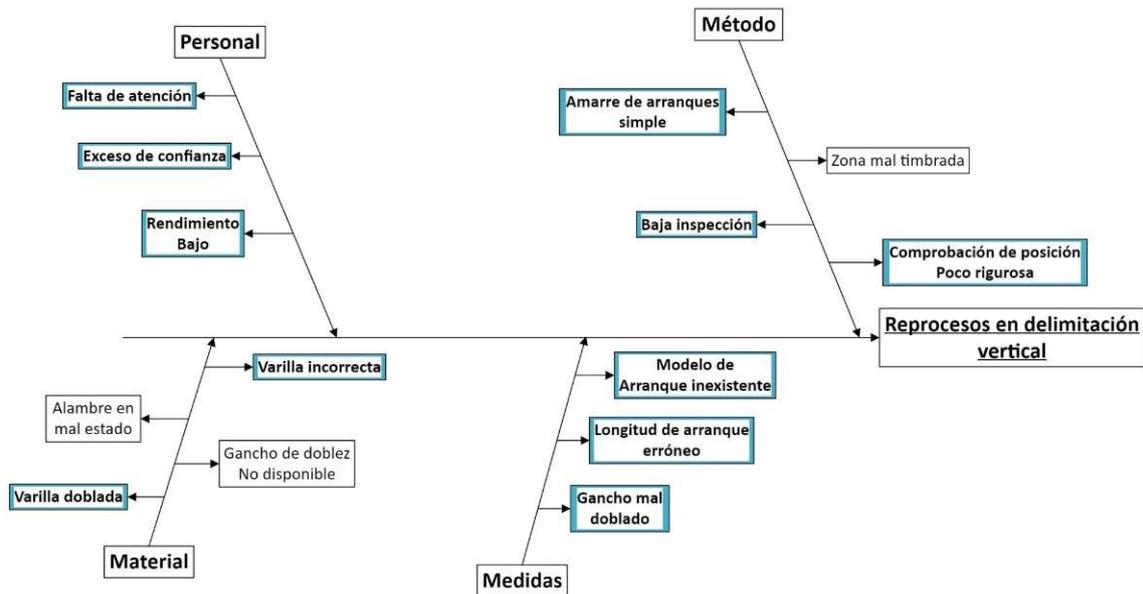
Anexo 18. Diagrama de caja y bigote para reproceso de mal delimitación de arranques. (Realizado por los autores)



Anexo19. Pareto de Arranques fuera de la Delimitación (Realizado por los autores)



Anexo 20. Diagrama de Ishikawa para punto de medición 2 para delimitación vertical (Realizado por los autores)



Anexo 21. Resumen de tiempos invertidos en la corrección de delimitación de arranques (Realizado por los autores)

Corrección Delimitación Vertical de Arranques	
Tiempo Total Promedio	23.8
Máximo	32.2
Mínimo	16.5
Desviación estándar	4.1
Para 42 Casas (min)	999.8
Horas	16.7
Días Laborables	2.1

Anexo 22. Planificación de reuniones de capacitación (Realizado por los autores)

Sesión #	Contenidos	Impactos deseados
1	<ul style="list-style-type: none"> *Metodología tradicional vs LPS *Impactos en la planificación *Indicadores: PNC, RNC 	<ul style="list-style-type: none"> *Mayor entendimiento del LPS *Cambio de perspectiva hacia el LPS

Anexo 24. Plantilla para análisis de restricciones (Realizado por los autores)

Constructora: C.A.L.C
Obra: Conjunto Habitacional Adiro 2

Periodo de Programación	4 semanas
Fecha de Inicio	01/03/2021
Fecha de Fin	31/03/2021

COD	Actividad	#Casa	Fecha inicio	Fecha fina	Tipo de restricción							Fecha Máxima liberación	Elemento	Cantidad
					Herramientas	Mano obra	Prerrequisito	Material	Clima	Reproceso	Proveedor			
1,14	Armar cadenas y arranques	4	17/03/2021	18/03/2021	x			x				21/03/2021	Amoladora	1
													Disco de corte de hierro	1
1,19	Colocar cadenas y arranques	4	18/03/2021	18/03/2021						x		21/03/2021	Elaboración arranques	15
													Elaboración cadenas	1
2,7	Doblar Varillas en la base	2	22/03/2021	22/03/2021			x					23/03/2001	Terminar doblado	25
1,2	Excavar delimitaciones	6	23/03/2021	24/03/2021								29/03/2021	Uña de excavadora	1

Anexo 25. Tabla 8: Plantilla Inventario de trabajo ejecutable (ITE) (Realizado por los autores)

Constructora: C.A.L.C
Obra: Conjunto Habitacional Adiro 2

Periodo de Programación	4 semanas
Fecha de Inicio	01/03/2021
Fecha de Fin	31/03/2021

COD	Actividad	Clasificación	#Casa	Fecha maxima liberación	Fecha de liberación real
1,14	Armar cadenas y arranques	R	4	22/03/2021	23/03/2021
1,19	Colocar cadenas y	R	4	22/03/2021	23/03/2021
2,7	Doblar Varillas en la base	A	2	26/03/2021	24/03/2021
1,2	Excavar delimitaciones	F	6	05/04/2021	27/03/2021

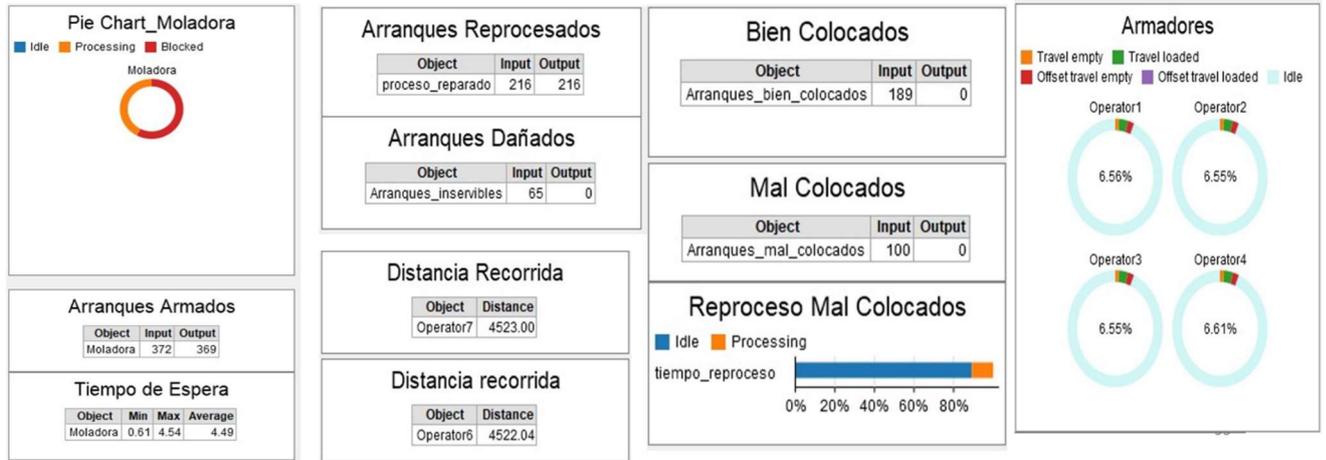
Anexo 26. Plantilla para plan de trabajo semanal (PTS). (Realizado por los autores)

Constructora: C.A.L.C				Periodo de Programación		1 semana								
Obra: Conjunto Habitacional Adiro 2				Fecha de Inicio		01/04/2021								
				Fecha de Fin		06/04/2021								
COD	Actividad	#Casa	Porcentaje ejecutado	Cumplimiento (1, Si; 0, No)	Restricción								Descripción	
					Herramienta	Material	Prerrequisito	Mano de obra	Clima	Reproceso	Proveedor	Máquina		
1,14	Armazn cadenas y	4	80%	1	x	x								Falta de alambre. Falta disco de corte
1,19	Colocar cadenas y	4	100%	1										
2,7	Doblar Varillas en	2	50%	0				x						Obrero con urgencia médica
1,2	Excavar delimitacio	6	100%	1				x						Obrero con urgencia médica
PAC				25%		1	1		2					

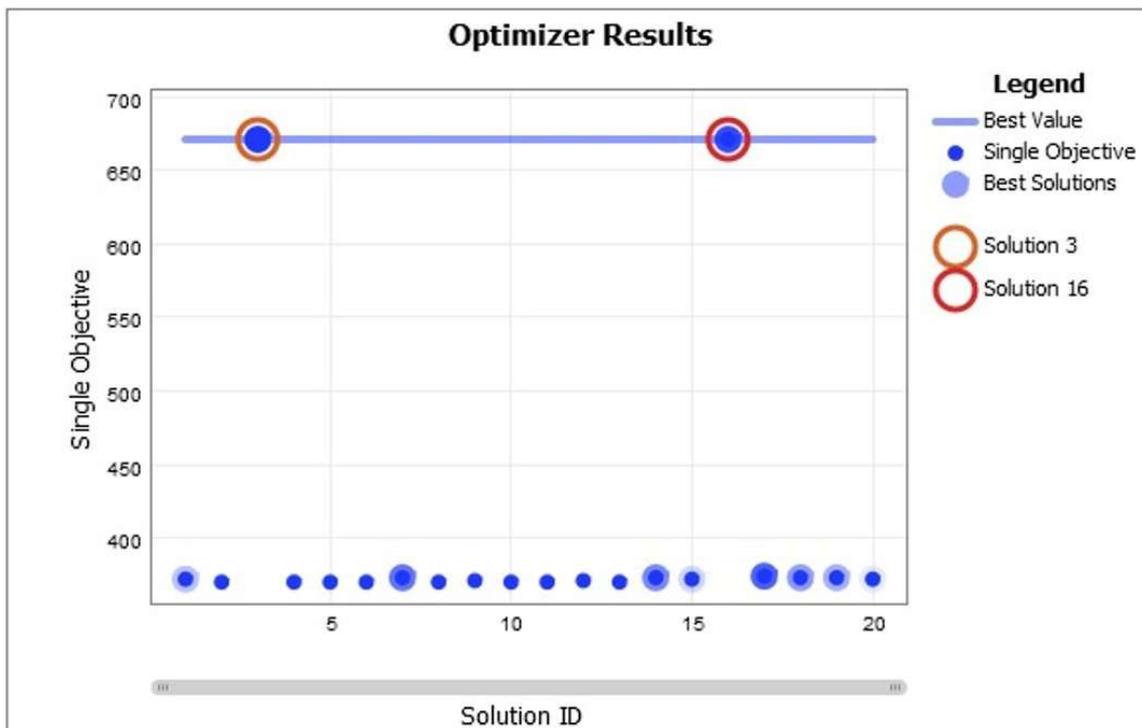
Anexo 27. Reunión Semanal (Fuente: Kim, 2005)



Anexo 28. Dashboards del As-is para resultados (Realizado por los autores)



Anexo 29. Resultados del Optimizer (Realizado por los autores)



Anexo 30. Dashboards de resultados de la solución 16. (Realizado por los autores)

Pie Chart_Moladora



Arranques Reprocesados

Object	Input	Output
proceso_reparado	112	112

Arranques Dañados

Object	Input	Output
Arranques_inservibles	17	0

Tiempo de Espera

Object	Min	Max	Average
Moladora	0.58	0.61	0.60

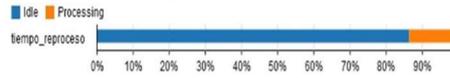
Bien Colocados

Object	Input	Output
Arranques_bien_colocados	512	0

Mal Colocados

Object	Input	Output
Arranques_mal_colocados	126	0

Reproceso Mal Colocados



Armadores

