



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
MODELO DE GESTIÓN COLABORATIVO APLICANDO
LA METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCCIÓN PARA UNA
EMPRESA DE ADOQUINES, QUITO - ECUADOR**

AUTOR

Ing. Pilamonte Guayasamín Diego Vicente

**TRABAJO DE TITULACIÓN
Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GESTIÓN
DE LA CONSTRUCCIÓN**

TUTOR

Ing. Muyulema Allaica Juan Carlos PhD.

Santa Elena, Ecuador

Año 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. Toledo Montece Víctor Ernesto,
Mgtr
COORDINADOR DEL PROGRAMA**

**Ing. Muyulema Allaica Juan Carlos
PhD.
TUTOR**

**Ing. Cornejo Martínez Mauricio
Heriberto PhD.
DOCENTE ESPECIALISTA 1**

**Ing. Arroyo Orozco Jorge José, Mgtr
DOCENTE ESPECIALISTA 2**

**Ab. Rivera González María Margarita,
Mgtr
SECRETARIA GENERAL**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por el Ing. Diego Vicente Pilamonte Guayasamín, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil con Mención en Gestión de la Construcción.

TUTOR

Ing. Muyulema Allaica Juan Carlos PhD.

03 días del mes de abril del año 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Diego Vicente Pilamonte Guayasamín

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, “MODELO DE GESTIÓN COLABORATIVO APLICANDO LA METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCCIÓN PARA UNA EMPRESA DE ADOQUINES, QUITO - ECUADOR” previo a la obtención del título en Magíster en Ingeniería Civil con Mención en Gestión de la Construcción, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, a los 03 días del mes de abril del año 2025

EL AUTOR

Ing. Diego Vicente Pilamonte Guayasamín



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado “MODELO DE GESTIÓN COLABORATIVO APLICANDO LA METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCCIÓN PARA UNA EMPRESA DE ADOQUINES, QUITO - ECUADOR”, presentado por el estudiante, Diego Vicente Pilamonte Guayasamín fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 7%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

**INFORME DE ANÁLISIS**
magister

Informe-de-investigación_Pilamonte(1)

7%
Textos
sospechosos

- 4% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas
- 3% Idiomas no reconocidos
- 11% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: Informe-de-investigación_Pilamonte(1).docx	Depositante: JUAN CARLOS MUYULEMA ALLAICA	Número de palabras: 50.633
ID del documento: 46b703290187b3029f01eb32184e634f43cac5bb	Fecha de depósito: 3/4/2025	Número de caracteres: 335.495
Tamaño del documento original: 4,89 MB	Tipo de carga: interfaz	
Autores: []	fecha de fin de análisis: 3/4/2025	

TUTOR

Ing. Muyulema Allaica Juan Carlos PhD.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO
AUTORIZACIÓN**

Yo, Diego Vicente Pilamonte Guayasamín

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales del informe de investigación con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este informe de investigación dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Santa Elena, a los 03 días del mes de abril del año 2025

EL AUTOR

Ing. Diego Vicente Pilamonte Guayasamín

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi hija, mis padres, la Universidad Estatal Península de Santa Elena, mis estimados docentes y especialmente a mi tutor de tesis, Juan Carlos Muyulema Allaica.

A mi hija, por su constante apoyo y motivación. A mis padres, por su inquebrantable respaldo y sacrificio. A la Universidad, por proporcionar el entorno y los recursos necesarios. A mis docentes, por su orientación y enseñanzas.

Y a mi tutor de tesis, Juan Carlos Muyulema, por su invaluable orientación, paciencia y dedicación. Su influencia ha sido fundamental en este logro académico.

¡Gracias a todos por ser parte de este importante viaje!

Diego Vicente Pilamonte Guayasamín

DEDICATORIA

A Dios, mi guía y fortaleza en cada paso de mi vida,
gracias por iluminar mi camino y darme la fuerza para
alcanzar mis metas.

A mi amada hija, Isabellita, tu amor y alegría han sido
mi mayor inspiración. Este logro es también tuyo,
gracias por ser mi luz en los días oscuros y por ser mi
mayor motivación para seguir adelante.

A mis queridos padres, Sandra y Vicente, su amor
incondicional, apoyo inquebrantable y sacrificio
desinteresado han sido los pilares de mi vida. Este
logro no habría sido posible sin su constante aliento y
orientación.

Diego Vicente Pilamonte Guayasamín

ÍNDICE GENERAL

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	i
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iv
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	v
AUTORIZACIÓN	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN	xx
ABSTRACT.....	xxi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	8
1.1. Antecedentes de la investigación.....	8
1.2. Estado del arte.....	11
1.2.1. Definición para la búsqueda	12
1.2.1.1. Definición de preguntas de la investigación bibliométrica	12
1.2.2. Alcance de la revisión bibliométrica	14
1.2.3. Definición de criterios de inclusión y exclusión.....	16
1.2.4. Establecimiento de criterios de calidad	18
1.2.5. Ejecución de la búsqueda.....	19
1.2.5.1. Selección de trabajos primarios	19
1.2.6. Definición de criterios de análisis.....	23
1.2.7. Análisis de resultados	24

1.2.8.	Esquema de Caracterización	34
1.2.8.1.	Esquemmatización	34
1.2.8.2.	Delimitación.....	35
1.3.	Conceptualizaciones	36
1.3.1.	Lean Construction.....	36
1.3.2.	Lean Six Sigma.....	37
1.3.3.	DMAIC SIX SIGMA.....	37
1.3.4.	Fases DMAIC	40
1.3.4.1.	Definir.....	41
1.3.4.2.	Medir.....	42
1.3.4.3.	Analizar.....	43
1.3.4.4.	Mejorar (improve).....	44
1.3.4.5.	Controlar	44
1.3.5.	Aplicación de DMAIC Six Sigma	45
1.3.6.	Árbol del problema	48
1.3.7.	Beneficios de Six Sigma	49
1.3.8.	Gestión por procesos.....	50
1.3.9.	Fundamentación legal	50
CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO		52
2.1.	Tipo de investigación.....	52
2.2.	Diseño de investigación.....	53
2.3.	Procedimiento metodológico	53
2.3.1.	Procedimiento metodológico para recolección de datos.....	53
2.3.2.	Procedimiento metodológico para la aplicación de Lean Six Sigma	55

2.4. Población y muestra.....	57
2.4.1. Población	57
2.4.2. Muestra	58
2.5. Métodos, técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	59
2.5.1. Método	59
2.5.1.1 Método cuantitativo	59
2.5.1.2. Método cualitativo	60
2.5.2. Técnicas	60
2.5.2.1. Técnicas Cuantitativas	60
2.5.2.2. Técnicas Cualitativas	61
2.5.3. Instrumentos.....	62
2.5.3.1. Lista de cotejo.....	62
2.5.3.2. Guía de Entrevista.....	63
2.5.3.2. Observación directa	63
2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.....	64
2.6.1. Marco teórico mediante revisión bibliométrica de la literatura existente	64
2.6.2. Análisis de las fuerzas externas y condiciones económicas que afectan la eficiencia operativa.....	65
2.6.3. Diseño de un modelo de gestión colaborativo basado en Lean Construction	65
2.7. Variables del estudio.....	66
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
3.1 Diagnostico situacional.....	67

3.1.1. Recolección de datos cualitativos	67
3.1.1.1. Análisis documental.....	67
3.1.1.2. Generalidades de la empresa.....	68
3.1.1.2.1. Misión	68
3.1.1.2.2. Visión.....	68
3.1.1.2.3. Ubicación de la empresa	69
3.1.1.3. Análisis del impacto de las fuerzas externas	69
3.1.1.3.1. Rivalidad entre competidores existentes.....	70
3.1.1.3.2. Poder de negociación de los proveedores	72
3.1.1.3.3. Poder de Negociación de los Clientes.....	73
3.1.1.3.4. Amenaza de productos sustitutos.....	74
3.1.1.3.5. Rivalidad entre Competidores	75
3.1.1.4. Análisis FODA	76
3.1.1.4.1. Fortalezas	77
3.1.1.4.2. Oportunidades.....	78
3.1.1.4.3. Debilidades	79
3.1.1.4.4. Amenazas.....	80
3.1.1.5. Entrevista	82
3.1.1.6. Estructura de la empresa	86
3.1.1.7. Esquema distributivo de las instalaciones de GUEFERZA.....	87
3.1.1.8. Mapa de procesos de la empresa.....	90
3.1.1.9. Diagrama de flujo de procesos.....	91
3.1.1.10. Especificaciones técnicas del producto.....	93

3.1.1.10.1.	Verificación del Cumplimiento de Especificaciones Técnicas	94
3.1.2.	Recolección de datos cuantitativo.....	95
3.2.	Propuesta de Implementación.....	102
3.2.1.	Desarrollo de los componentes de propuesta.....	102
3.2.1.1.1.	Definir (D)	102
3.2.1.1.2.	Medir (M)	111
3.2.1.1.3.	Analizar (A)	116
3.2.1.1.4.	Mejorar (I).....	112
3.2.1.1.5.	Controlar (C).....	123
3.3.	Análisis económico.....	127
3.4.	Comprobación de la hipótesis.....	129
3.5.	Discusión de resultados	131
3.6.	Enlace entre Lean Six Sigma (LSS) y Lean Construction.....	134
3.7.	Limitaciones y Futuras Líneas de Investigación.....	136
3.7.1.	Limitaciones.....	136
3.1.1.	Futuras Líneas de Investigación	136
CONCLUSIONES		137
RECOMENDACIONES		140
REFERENCIAS.....		142
ANEXOS.....		151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Preguntas de la investigación bibliométrica	13
Tabla 2. Descriptores de búsqueda para conformación de las Ecuaciones Booleanas ..	15
Tabla 3. Criterios de inclusión y exclusión.....	17
Tabla 4. Criterios de calidad	18
Tabla 5. Selección de trabajos primarios por base de datos	19
Tabla 6. Palabras clave con mayor coherencia	21
Tabla 7. Países con mayor número de publicaciones	23
Tabla 8. Casos con múltiples técnicas	30
Tabla 9. Casos con múltiples técnicas cuantitativas	33
Tabla 10. Proporción de errores por cada millón de unidades en los niveles sigma	38
Tabla 11. Comparación entre el ciclo PDCA y DMAIC	39
Tabla 12. Comparación entre los enfoques tradicionales y Six Sigma en la gestión de la calidad.....	40
Tabla 13. Preguntas clave para cada etapa de DMAIC	46
Tabla 14. Resumen de nuevos competidores en el mercado de adoquines.....	70
Tabla 15. Proveedores de cemento	72
Tabla 16. Proveedores de materiales pétreos (canteras)	73
Tabla 17. Segmentación de clientes y su poder de negociación en el mercado de adoquines	74
Tabla 18. Rivalidad entre competidores en el mercado de adoquines en Quito	76
Tabla 19. FODA de la empresa GUEFERZA.....	81
Tabla 20. Especificaciones técnicas del adoquín.....	93
Tabla 21. Datos históricos de ensayos	95
Tabla 22. Observación de lote #1	96

Tabla 23. Observación de lote #3	97
Tabla 24. Observación de lote #6	98
Tabla 25. Observación de lote #8	99
Tabla 26. Observación de lote #10	100
Tabla 27. Observación de lote #13	101
Tabla 28. Carta del proyecto	110
Tabla 29. Nivel Six Sigma de la propuesta.....	115
Tabla 30. Matriz AMFE Six sigma del resultado obtenido	107
Tabla 31. Siglas y niveles de Six Sigma.....	111
Tabla 32. Acciones de optimización.....	112
Tabla 33. Viabilidad de las acciones de mejora.....	114
Tabla 34. Presupuesto estimado para acciones de mejora	116
Tabla 35. Mejora en el tiempo promedio de los procesos	120
Tabla 36. Mejora de la productividad del proceso.....	120
Tabla 37. Nivel Six Sigma de la propuesta de mejora.....	122
Tabla 38. Cronograma de aplicación de las acciones de mejora	124
Tabla 39. Estimación de ingresos	128
Tabla 40. Evaluación de la inversión para la mejora	128
Tabla 41. Cuadro comparativo de resultados.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de mapeo sistemático.....	12
Figura 2. Mapa de coocurrencias.....	22
Figura 3. Distribución temporal de los artículos publicados	25
Figura 4. Comparación de la media de citas por documento entre países.....	26
Figura 5. Métodos “Lean” orientados a mejora continua y reducción de desperdicios.	27
Figura 6. Técnicas de recolección de datos cualitativos - caso individual	29
Figura 7. Técnicas de recolección de datos cuantitativo - caso individual.....	32
Figura 8. Protocolo para la implementación de herramientas Lean Construction en modelos de gestión.....	36
Figura 9. Pasos para la aplicación DMAIC	47
Figura 10. Árbol de problemas	49
Figura 11. Procedimiento metodológico para recolección de datos.....	54
Figura 12. Procedimiento metodológico para la aplicación de Lean Six Sigma	57
Figura 13. Ubicación de la empresa	69
Figura 14. Organigrama de personal de la empresa	86
Figura 15. Esquema de instalaciones y recorrido del proceso productivo.....	88
Figura 16. Mapa de procesos.....	90
Figura 17. Diagrama de flujo de proceso.....	92
Figura 18. Diagrama SIPOC	103
Figura 19. Diagrama de Pareto de los diferentes defectos del proceso	104
Figura 20. Diagrama de Pareto de los defectos de cada etapa de proceso.....	105
Figura 21. Diagrama de Pareto de los defectos por cada lote observado	106
Figura 22. Diagrama de Pareto de excedentes de tiempo por cada etapa de proceso..	107
Figura 23. Diagrama de Pareto de excedentes de tiempo por cada lote observado.....	108

Figura 24. Diagrama de Ishikawa de primer nivel	117
Figura 25. Diagrama de Ishikawa de segundo nivel.....	119

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	48
Ecuación 2.....	48
Ecuación 3.....	114
Ecuación 4.....	114
Ecuación 5.....	115
Ecuación 6.....	115
Ecuación 7.....	121
Ecuación 8.....	121
Ecuación 9.....	122
Ecuación 10.....	122

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Guía de entrevista	151
Anexo 2. Registro de observación de proceso.....	153
Anexo 3. Registro de datos del proceso	154
Anexo 4. Tablas de defectos encontrados en las observaciones.....	155
Anexo 5. Tablas de excedentes de tiempos encontradas en la observación	157
Anexo 6. Evidencia fotográfica de cada etapa del proceso de producción	159

RESUMEN

El presente trabajo propone el desarrollo de un modelo de gestión colaborativo a través de Lean Construction para la empresa GUEFERZA, una empresa en Quito, Ecuador, que se encarga de la manufactura y distribución de adoquín. Su objetivo principal es identificar los factores externos frente a los cuales puede modificar su operación y, en base a este resultado, plantear estrategias que permitan una reducción de costos, así como la mejora en la satisfacción de sus clientes. Para ello, se plantea la reducción de desperdicios y una mejor utilización de sus recursos disponibles mediante el modelo de gestión colaborativo. Se espera, en el futuro, que los resultados obtenidos ayuden a optimizar el uso de recursos y mejorar la eficiencia operativa. Eso significa un beneficio no sólo para las empresas sino también para toda la colectividad.

Palabras claves: Lean Construction, gestión colaborativa, eficiencia operativa.

ABSTRACT

This work proposes the development of a collaborative management model through Lean Construction for the company GUEFERZA, a company in Quito, Ecuador, that is responsible for the manufacturing and distribution of paving stones. Its main objective is to identify the external factors against which it can modify its operation and, based on this result, propose strategies that allow for cost reduction, as well as improvement in customer satisfaction. To achieve this, waste reduction and better use of available resources are proposed through the collaborative management model. It is expected, in the future, that the results obtained will help optimize the use of resources and improve operational efficiency. This means a benefit not only for companies but also for the entire community.

Keywords: Lean Construction, collaborative management, operational efficiency.

INTRODUCCIÓN

A nivel global, la industria de la construcción, impulsada por el aumento de la urbanización, ha incrementado la demanda de infraestructura, lo que ha llevado a la adopción de nuevas metodologías orientadas a optimizar operaciones, incrementar la eficiencia, eliminar desperdicios y ofrecer productos de mayor calidad para los habitantes (Romo et al., 2024). Las empresas de manufactura de materiales de construcción juegan un papel clave dentro de esta industria, ya que, debido al aumento en la demanda, han enfrentado una mayor presión para entregar sus productos y se han visto forzadas a adoptar metodologías como Lean Construction, que les permite realizar sus entregas de manera más rápida, económica y respetuosa con el medio ambiente (Salifu Osumanu et al., 2022). Sin embargo, muchas de estas empresas desconocen las nuevas metodologías o se mantienen vinculadas con los métodos tradicionales, los cuales a menudo conducen a la ineficiencia, al desperdicio de recursos y a retrasos en la entrega (Albalkhy & Sweis, 2021^a).

En la actualidad, la eficiencia de las empresas en América Latina está impedida por el empleo de maquinaria obsoleta, la inadecuada utilización de las horas de trabajo del personal, y la pésima sincronización entre los trabajadores y el equipo. El problema en la industria impacta significativamente en la eficiencia operativa y la competitividad, tal como lo define Salvatierra et al. (2020). A parte de los desafíos a nivel global, el entorno latinoamericano presenta ciertas particularidades tales como, los cambios en los marcos regulatorios e inestables condiciones económicas, que representan un aumento de la complejidad en la gestión empresarial de esta región (Gutiérrez Castillo et al., 2020).

Dentro del entorno nacional, es decir Ecuador, las empresas que se dedican a manufacturar y distribuir los materiales de construcción, enfrentan varios desafíos adicionales a los mencionados anteriormente. Además de las dificultades globales y regionales, estas empresas enfrentan desafíos como la falta de procesos de manufactura que sean eficientes y personal poco capacitado para cada actividad a efectuarse. Por lo tanto, para hacer frente a estos problemas es necesaria la implementación de varias

estrategias que son fundamentales para mantener la viabilidad y la competitividad dentro del mercado nacional (Córdor Chano & Coque Paucarima, 2021^a).

En el ámbito local, es decir en Quito, tenemos presentes retos en la construcción que no han permitido un desarrollo en las empresas que se dedican a los prefabricados de hormigón como son: una situación económica y política muy inestable, que según El Comercio (2024), ha sufrido una caída del 8,6% y del 17,4% en ventas de productos prefabricados y provocando una reducción del 4.9% en la actividad de la construcción solo en el año 2024. Por lo tanto, es importante identificar estos desafíos y buscar la manera de enfrentarse a los actuales desafíos promoviendo así el crecimiento del sector constructivo.

La efectividad de Lean Six Sigma aunque ha tenido resultados demostrados en la mejora de los procesos en el sector industrial, no ha sido explorado con profundidad en el ámbito de la construcción y en Ecuador todavía se encuentra en etapas muy tempranas, tanto en investigación como en aplicación en ambientes reales. Según estudios recientes, aunque algunas empresas en Ecuador ya han empezado a incorporar estas metodologías Lean, su adopción es limitada y existen espacios sin explorar (ResearchGate 2024). Por lo tanto, los hallazgos en la presente investigación nos permitirán desarrollar técnicas adecuadas para fomentar una implementación exitosa de Lean en las empresas de adoquines, mejorando la eficiencia y generando un valioso aporte al sector de la construcción.

Entonces, como se mencionó en el párrafo anterior, esta investigación tiene el propósito de crear un Modelo de gestión colaborativo con Lean Construction, analizando una empresa de prefabricados de hormigón y generando estrategias que impacten significativamente el entorno empresarial para aumentar la eficiencia operativa de la compañía al disminuir los tiempos muertos y los costos relacionados a este.

GUEFERZA es una empresa que tiene un largo historial en la distribución de materiales de construcción y en especial de adoquines, cuenta con veinte años de trayectoria y su ubicación se encuentra en Pintag del barrio El Batán en la provincia de Pichincha. Esta empresa, aunque ha tenido un crecimiento positivo en el abastecimiento de los materiales de construcción, mediante su excelente buena calidad y su amplia variedad de productos, enfrenta los desafíos y variaciones del entorno empresarial. Por lo tanto, GUEFERZA se ha visto en la necesidad de buscar soluciones. Para mantener su posición competitiva, en

necesario establecer un modelo de gestión que le permita a esta empresa obtener procesos más eficientes, adaptándose a las nuevas exigencias del mercado local actual.

En los últimos años ha habido un gran crecimiento en la industria y las empresas de manufactura de materiales de construcción se ven enfrentando a demandas cada vez mayores; no obstante, la adopción de enfoques innovadores para el desarrollo de productos como Lean y la gestión ágil de proyectos ha sido limitada. Si bien existen investigaciones previas que han abordado estos temas, solo unas pocas se han enfocado en industrias tradicionales como la construcción civil y en empresas que producen materiales de construcción, como los adoquines (Albuquerque et al., 2020).

Tomando en consideración la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la propuesta presentada de un Modelo de Gestión Colaborativo Basado en Lean Construction para la Empresa de Adoquines GUEFERZA esta alineada con el Objetivo de Desarrollo sostenible (ODS) número nueve: Industria, innovación e infraestructura. El objetivo nueve nos indica la importancia de impulsar la industria inclusiva y sostenibilidad junto al fomento de la innovación para hacer frente a los retos económicos y ambientales. Mediante las herramientas de Lean Six Sigma, se busca potenciar la eficiencia y a la productividad de los procesos que se ven involucrados en sintetizar los adoquines, generando así un impacto positivo tanto en el medio ambiente como en el progreso de la industria.

La presente investigación propone un Modelo de Gestión Colaborativo basado en Lean Construction, que buscando generar una transformación y mejora sustancial en la empresa, mediante mejoras significativas en los tiempos de espera y costos operativos, con el objetivo de impulsar un cambio práctico, recalcando la innovación y mejora continua que permita tener éxito en el actual mercado ecuatoriano.

El informe de investigación presente consta de tres capítulos en total. En el primer capítulo se exponen los conceptos básicos y se realizó un análisis bibliométrico que destacó Lean Six Sigma como la metodología más apropiada para optimizar los procesos de la empresa de adoquines; además se incluyen antecedentes y conceptos esenciales. El capítulo ii) describe la metodología empleada, que incluye la entrevista, análisis documental y observación para estudiar el proceso productivo y el entorno externo de la empresa. Finalmente, en el capítulo iii) se exponen los resultados, que incluyen los

análisis mencionados y los datos del proceso productivo necesarios para cumplir con los objetivos de la investigación.

Planteamiento de la investigación (Fundamentación de la investigación)

La compañía GUEFERZA de Quito se dedica a la producción y distribución de adoquines y se encuentra lidiando con problemas operativos que generan costos elevados y menor satisfacción por parte de los clientes. Para hacer frente a estas dificultades se planteó en este estudio la implementación de un enfoque colaborativo de gestión basado en Lean Construction que tiene como objetivo principal optimizar los procesos internos para reducir desperdicios y costos mientras se mejora la eficiencia operativa. La aplicación de este modelo no solo permitirá que GUEFERZA haga frente a las presiones externas y aumente su competitividad, sino que también proporcionará un enfoque práctico para potenciar la industria de la construcción en Ecuador.

Justificación

La industria de la construcción tiene un papel fundamental en el desarrollo económico en cada sociedad (Llaque Fernández et al., 2021). Sin embargo, esta industria se ha visto enfrentada a varios desafíos críticos hablando en términos de eficiencia y eficacia. Las empresas de adoquines, al pertenecer a la industria de la construcción, enfrenta los mismos problemas tales como: una utilización de recursos de manera no optimizada y la falta de coordinación entre los participantes claves, lo que genera procesos poco eficientes que llevan al desperdicio.

En este contexto se hace evidente la importancia de adoptar enfoques innovadores y colaborativos. El modelo de gestión colaborativa propuesto en este estudio se basa en la metodología Lean Construction y se presenta como una solución completa para hacer frente a los retos del sector. Este enfoque proporcionará soluciones específicas para mejorar los procesos internos, disminuir los gastos operativos y mejorar la calidad del producto final.

El modelo de Gestión Colaborativa con Lean Construction, promueve una integración eficaz de los participantes de la cadena de valor, resaltando así la **importancia** y **trascendencia** que tiene esta investigación, tratando asuntos críticos que impacten a las empresas dedicadas a la fabricación de adoquines, mediante un enfoque metodológico que pueda lograr un equilibrio entre la sostenibilidad y la actual competitividad empresarial que cada vez se torna más compleja y desafiante.

La **originalidad** de la presente investigación se ve destacada en la innovadora combinación entre un Modelo de Gestión y Lean Construction orientado a la mejora eficiente de las operaciones. Mediante una perspectiva integral concentrada tanto en la optimización de los procesos de fabricación y elevar el producto final, usando indicadores de rendimiento (KPI's), la propuesta pretende examinar los resultados obtenidos para ofrecer un valioso aporte en el ámbito de la Construcción Ágil con un enfoque práctico y estratégico que se pueda integrar de manera exitosa en las empresas que se dedican a la fabricación de adoquines y otros prefabricados de hormigón.

La aplicación de un Modelo de Gestión Colaborativo basado en Lean Six Sigma para las empresas que se dedican a los prefabricados de hormigón en Ecuador se considera **viable**, mediante el uso de herramientas Lean que permiten evaluar los factores claves como el DMO y DOMP, permite comprender profundamente las dinámicas que enfrenta la fabricación de adoquines, para subsanar dichas limitantes y adoptar un enfoque sistemático y adecuadamente estructurado en la fabricación de los mismos.

El enfoque propuesto que integra las cinco etapas de Lean Six Sigma es versátil y adaptable; esto facilita su implementación en diversas situaciones y empresas sin importar su envero o capacidad específica. De este modo las compañías especializadas en pavimentación podrán incrementar la eficiencia de sus operaciones disminuir los gastos y elevar la calidad de sus mercancías impulsando así la sustentabilidad y competitividad en el ámbito de la construcción en Ecuador.

Los **beneficiarios directos** son las empresas de adoquines, mediante la eliminación de los desperdicios en la fabricación; la reducción de costos de funcionamiento; y un incremento en la calidad de sus productos, se busca optimizar los procesos de fabricación y aumentar la competitividad de estas empresas. Además de esto los empleados de las compañías experimentarán mejoras en un entorno laboral más productivo y seguro; esto podría resultar en una mayor satisfacción en el trabajo y un rendimiento mejorado. Tanto las autoridades locales como nacionales se verán **favorecidas de forma indirecta** también; la creación de un sector más competitivo y eficiente contribuirá a la estabilidad económica del país generando mayores ingresos fiscales y mejorando la infraestructura a nivel local. Los proveedores de materiales experimentarán un incremento en la demanda a raíz de la creciente competitividad en el ámbito de la construcción; esto generará más puestos de trabajo y favorecerá el desarrollo económico local. Asimismo, el modelo

tendrá un impacto positivo en el ámbito académico al introducir un enfoque metodológico innovador que podrá ser tomado como referencia en futuras investigaciones y programas educativos. De este modo el modelo no solo contribuye al mejoramiento de la sostenibilidad y la competitividad de las compañías dedicadas al sector de adoquines; también tiene un impactante efecto en términos económicos y sociales tanto en la comunidad como en el país en su totalidad.

Formulación del problema de investigación

La compañía GUEFERZA en Quito se encuentra ante obstáculos al tratar de mejorar su eficiencia en operaciones y administrar sus recursos de manera efectiva. Considerando los impactos de fuerzas externas y la necesidad de satisfacer a sus clientes, surge la necesidad de un modelo de gestión colaborativo que, basado en principios de Lean Construction, permita reducir costos y mejorar la productividad.

¿Qué método de Lean Construction es el más adecuado para elaborar un Modelo de Gestión Colaborativo que permita optimizar la distribución de materiales y mejorar la eficiencia operativa en GUEFERZA?

Propósito: Determinar el enfoque Lean más efectivo y adecuado para desarrollar el diseño de un Modelo de Gestión Colaborativo que aborde la optimización de recursos y costos.

¿Cómo implementar el método Lean seleccionado para mejorar la productividad en los procesos de elaboración de adoquines en la empresa?

Propósito: Identificar estrategias prácticas de aplicación que puedan aumentar la productividad en los procesos de producción de la empresa.

Bajo esta perspectiva, se planteó el siguiente objetivo general para orientar el desarrollo del presente trabajo de investigación:

OG. Proponer un modelo de gestión colaborativo integrado con la metodología de construcción sin pérdidas (Lean Construction) que permita la mejora de la eficiencia operativa de la empresa de adoquines GUEFERZA.

De igual manera, para alcanzar el objetivo general establecido, se determinaron los siguientes objetivos específicos:

OE.1.- Elaborar un marco teórico mediante la revisión bibliométrica de literatura existente y la síntesis de los hallazgos relevantes para la estructuración de una base conceptual consistente que relacione las variables de la investigación.

OE.2.- Analizar el impacto de las fuerzas externas que influyen en la gestión de la empresa mediante revisión documental y condiciones económicas, de modo que se logre la identificación de oportunidades y amenazas que afecten la eficiencia operativa y la competitividad.

OE.3.- Diseñar un modelo de gestión colaborativo mediante la incorporación de un método Lean Construction que permita la mejora de los procesos operativos y logísticos de la empresa.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la investigación

Lean Construction es una metodología que aplica los principios del Lean Manufacturing, desarrollados originalmente por Toyota en la década de 1950, al sector de la construcción. Su objetivo principal es reducir el desperdicio en los procesos de construcción y en la manufactura de materiales, al mismo tiempo que maximiza el valor para el cliente, lo que significa eliminar actividades que no agregan valor y mejorar la eficiencia (Albalkhy & Sweis, 2021b). El concepto clave de “Lean” implica un enfoque en la producción ajustada, donde cada etapa del proceso es optimizada para ser lo más eficiente posible (Mohammadi et al., 2022). Su origen radica en la búsqueda de superar las ineficiencias inherentes en los proyectos de construcción y fabricación in situ, que frecuentemente enfrentan problemas como sobrecostos, retrasos y baja calidad (Bayhan et al., 2023).

Teniendo en consideración el enfoque de optimización de la gestión logística en compañías manufactureras de materiales, siguiendo un estudio realizado por Zhao et al. (2021), se llevó a cabo una investigación que se enfocaba en mejorar la eficiencia y reducir los desperdicios; objetivos fundamentales de las técnicas “Lean”, mediante la implementación de una gestión logística que se basaba en kits de ensamblaje para suministrar materiales justo a tiempo (JIT). Realizaron un seguimiento en tiempo real de los flujos de material y mano de obra utilizando diversos datos en un marco de datos conectados para mejorar el proceso de trabajo logístico. El estudio tenía como objetivo simplificar la gestión logística identificando factores clave de desempeño para que los gerentes pudieran abordar las causas subyacentes de los problemas y mejorar las soluciones logísticas en línea con Lean Construction con la finalidad de incrementar la eficiencia en los proyectos.

Para maximizar la eficiencia y minimizar los gastos en un proyecto de Construcción Lean en Suzhou (China), Xing et al. (2021) llevaron a cabo un estudio que involucró la implementación de herramientas como el sistema del Último Planificador (Last Planner System - LPS), el método Kanban y el Just-In-Time (Just-In-Time).

Complementariamente, se llevaron a cabo entrevistas con líderes de proyecto y encuestas a 43 partes interesadas y expertos globales en “Lean”. Los resultados mostraron que la implementación de LC podría reducir significativamente los tiempos de espera y defectos del proyecto, mejorando el flujo de trabajo, la productividad y la calidad. Además, se identificaron la falta de confianza y las capacidades de las partes interesadas como los principales desafíos en la adopción de prácticas Lean en la construcción.

Con el fin de profundizar en los desafíos que surgen al intentar aplicar Lean Six Sigma (LSS), para alcanzar la excelencia operativa en compañías de tecnología digital en crecimiento, Lameijer et al. (2021) analizaron seis empresas de Estados Unidos mediante un estudio de los valores ya existentes dentro de la organización y reestructurando el programa de formación tradicional ajustando la ejecución de los proyectos a LSS, para determinar elementos fundamentales para el éxito en la aplicación de LSS, hallando así datos relevantes que comprenden aspectos críticos al momento de implementar LSS..

Huerta Estévez (2021) enfocándose en la gestión de la producción, examinó la implementación de Lean en una fábrica de ensamblaje de automóviles, mediante estos principios Lean logró detectar y disminuir las ineficiencias del proceso, para abordar los problemas de paradas en la línea de producción y desplazamientos extensos innecesarios que ocasionaban pérdidas económicas a la empresa, obteniendo así una mejoría en el flujo operativo y la optimización de los recursos disponibles dentro de la empresa. El objetivo fue reducir los tiempos muertos y las pérdidas económicas, mejorando la entrega a tiempo de unidades y disminuyendo los costos asociados al inventario.

Para abordar los desafíos de gestión en la industria de la construcción en Egipto, conocida por su alta generación de residuos que afectan tanto a la economía como al medio ambiente. Shaqour (2022) evaluó la adopción de enfoques Lean Construction (LC), solicitando información de 162 profesionales con experiencia en gestión, construcción y diseño, para reducir el desperdicio y mejorar el rendimiento en proyectos de la nueva capital de Egipto. Los hallazgos que se obtuvieron indicaron que a pesar de que los expertos utilizan herramientas de Lean en las obras de construcción, la comprensión de esta es limitada. Sin embargo, la implementación de LC ha presentado beneficios significativos en la mejora del control de los procesos, la planificación y la gestión de los materiales.

El estudio realizado por Limenih et al. (2022), se encontró que los proyectos de infraestructura vial comúnmente presentan dificultades para cumplir los plazos estipulados de finalización y los presupuestos asignados además de alcanzar los estándares de calidad requeridos inicialmente establecidos. Para hacer frente a esta problemática identificada en el sector de la construcción vial se sugirió la implementación del sistema conocido como Último Planificador (LPS). Este enfoque se fundamentaría en una gestión Lean que implica la participación activa de los equipos involucrados en el control y seguimiento del proyecto. El estudio llevado a cabo utilizó diversas técnicas como encuestas explorativas detalladas y entrevistas semiestructuradas juntamente con grupos focales para recopilar información tanto cualitativa como cuantitativa relevante al tema tratado. Además del análisis de la gestión actual implementada en proyectos viales se evaluaron las barreras existentes para la adopción efectiva del sistema LPS propuesto por los investigadores. Los resultados indicaron que a pesar de la utilización de enfoques convencionales de planificación existen posibilidades destacadas para mejorar el rendimiento mediante el LPS; este método promete optimizar los plazos reducir los gastos y elevar la excelencia en los proyectos de construcción.

Finalmente se realizó un estudio exhaustivo por Aslam et al. (2024), para evaluar la efectividad de la metodología Lean Construction (LC) en proyectos de construcción y producción de materiales prefabricados mediante encuestas a expertos de la industria y análisis de casos en cinco proyectos específicos. Utilizaron un cuestionario integral y aplicaron análisis estadísticos para medir la adopción de las prácticas LC, centrándose en su impacto sobre indicadores clave como los retrasos, costos y la calidad del proyecto. Los resultados del estudio demostraron que la implementación de principios Lean puede mejorar significativamente el desempeño de los proyectos, reduciendo ineficiencias y promoviendo su adopción a mayor escala en la industria.

Los análisis realizados subrayan la relevancia de la Construcción Lean y sus herramientas correlacionadas para potenciar la eficiencia y disminuir el desperdicio en proyectos de construcción y en la fabricación de elementos prefabricados. La implementación de estas metodologías no solo contribuye a abordar las deficiencias habituales en la industria sino que también fomenta una cultura colaborativa entre los distintos participantes implicados. Al explorar a fondo los desafíos y elementos clave para lograr su ejecución exitosa se evidencia que la metodología Lean tiene el potencial de cambiar de manera positiva la

gestión en el sector de la construcción al mejorar la calidad del trabajo realizado y reducir costos y tiempos de entrega cumpliendo plazos establecidos.

1.2. Estado del arte

El estado del arte de la técnica es un componente fundamental y coherente dentro del enfoque metodológico que facilita la evaluación crítica de las dimensiones políticas y educativas en estudios sobre la evaluación del aprendizaje. En síntesis busca entender cómo ha evolucionado el proceso metodológico y técnico mediante el análisis del conocimiento disponible según (Guevara Patiño, 2016). Esta perspectiva puede ser útil como herramientas para reconocer y comprender la realidad además de establecer una base sólida para la toma de decisiones en investigaciones.

La investigación adoptó un enfoque combinado al integrar métodos cualitativos y cuantitativos en su análisis inicial mediante un Mapeo de Literatura Sistemática (MLS). El estudio abarcó la revisión exhaustiva de 65 documentos científicos provenientes de las plataformas Scopus, Web of Science y Scielo que permitió identificar dimensiones clave para la exitosa implementación de la metodología Lean Construction en una empresa dedicada a la manufactura de materiales para construcción. Posteriormente se siguió un protocolo riguroso para garantizar la inclusión de estudios pertinentes y completos. Se utilizaron palabras clave vinculadas a enfoques Lean (ágiles), eficiencia en la operación y modelos de administración en los documentos examinados que proporcionaron detalles sobre aspectos de eficiencia dimensionales y los métodos y técnicas aplicados junto a las metodologías utilizadas para su evaluación.

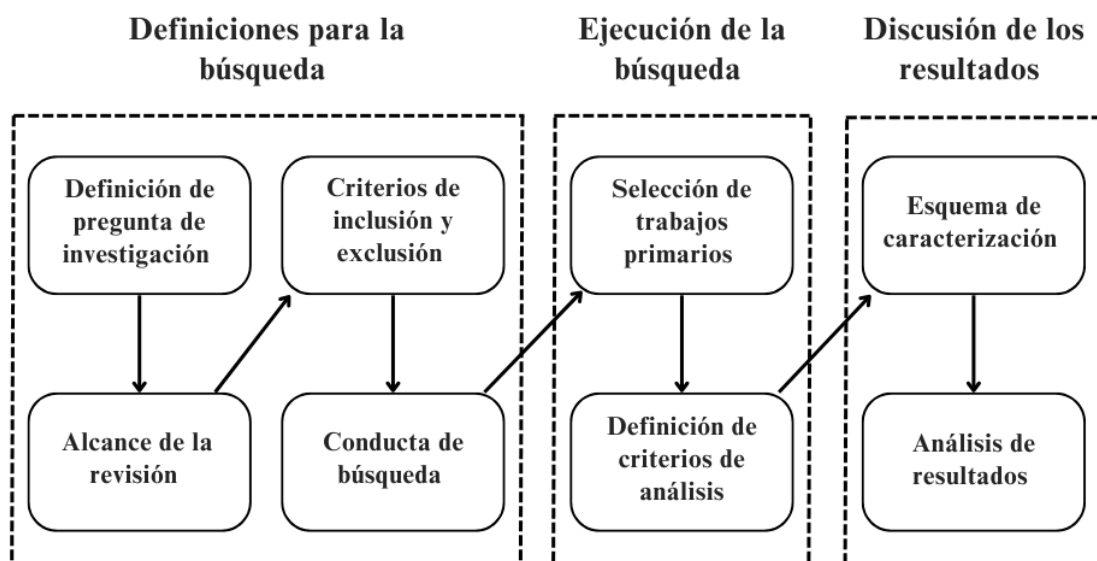
El Mapeo Sistemático de Literatura (MSL) es una herramienta que permite recopilar y examinar una amplia cantidad de información literaria de manera clara y confiable. El MSL mediante las bases de datos bibliográficos y herramientas visuales facilita el análisis de las pruebas en el ámbito específico en la que se piensa aplicar una investigación, con el fin de detectar tanto los conjuntos de pruebas orientados a la investigación como las brechas de la información disponible (Spiller et al., 2022). Por lo general el mapeado sistemático se emplearía como una fase preliminar y descriptiva antes de llevar a cabo una revisión sistemática más exhaustiva y analítica. Además de eso el MSL ayuda en la recopilación de información crucial acerca de definiciones validaciones procesos propuestas estudios aplicados y métodos de investigación descritos en la literatura

brindando así un contexto más completo y organizado para el objeto de estudio (Petersen et al., 2015).

La Figura 1 ilustra el proceso del mapeo sistemático, dividido en tres fases, según la adaptación realizada por Petersen et al. (2015). Primero, en la etapa de Búsqueda, se realiza una investigación exhaustiva en fuentes y bases de datos relevantes para recolectar literatura pertinente. Luego, en la etapa de Análisis de Resultados, se evalúa la información obtenida, identificando patrones, temas comunes y áreas de conocimiento no abordadas. Finalmente, en la etapa de Refinamiento de la Búsqueda, se ajustan y precisan los términos y criterios de búsqueda basados en los hallazgos, asegurando que las investigaciones futuras se dirijan a las áreas más relevantes y necesarias. Este enfoque estructurado garantiza una base sólida y efectiva para la investigación.

Figura 1

Proceso de mapeo sistemático



Nota: Adaptado de Petersen et al. (2015).

1.2.1. Definición para la búsqueda

1.2.1.1. Definición de preguntas de la investigación bibliométrica

Las preguntas elaboradas en el estudio bibliométrico siguen las sugerencias de Narváez-Narváez et al. (2023), donde se abordan tanto los aspectos teóricos como los prácticos de la revisión bibliográfica con profundidad, se plantearon cuatro preguntas clave apegadas

a los objetivos generales del análisis, tomando en cuenta el enfoque teórico para determinar las metas (objetivos) y el los aspectos técnicos y metodológicos para determinar el enfoque practico, todo esto para mejorar la recopilación y análisis de los datos obtenidos. Esta diferencia permitió una revisión más estructurada y eficiente al relacionar los objetivos generales y las preguntas particulares con los requisitos de la investigación y los objetivos establecidos.

M1: Clasificar la información para determinar el grado de interés y enfoque que la comunidad científica ha prestado en los últimos años a las variables de investigación.

M2: Evaluar la calidad de los artículos elegidos según los estándares establecido en la tabla de criterios para evaluar artículos primarios.

M3: Recolectar información sobre definiciones conceptuales, propuestas, métodos de investigación, procesos y enfoques de investigación para medir el progreso alcanzado en el campo de estudio.

La Tabla 1 presenta las preguntas de investigación y su relación con los objetivos correspondientes (M).

Tabla 1

Preguntas de la investigación bibliométrica

No.	Preguntas de investigación	M
P1	¿Cómo se distribuyen temporalmente los artículos científicos seleccionados?	M1
	Presentar la tendencia de publicación de artículos a nivel macro, abarcando el periodo de enero de 2020 a agosto de 2024	
P2	¿Cuál es la calidad de los artículos científicos seleccionados?	M2
	Evaluar la calidad de los estudios de acuerdo con los criterios establecidos para la valoración de artículos relevantes presentados en la Tabla 3	
P3	¿Qué soluciones se sugirieron en los artículos seleccionados?	M3
	Determinar los métodos sugeridos en las investigaciones.	
P4	¿Qué métodos se emplearon para la recolección de datos en los artículos seleccionados?	M3
	Determinar los métodos, técnicas y herramientas utilizadas en cada uno de los artículos seleccionados.	

Nota: Adaptado de Narváez-Narváez et al. (2023).

1.2.2. Alcance de la revisión bibliométrica

Tomando en cuenta las contribuciones desarrolladas por Muyulema Allaica et al. (2024), delimitar el alcance de la revisión resulta fundamental para identificar vacíos en la literatura, lo que es crucial para orientar futuras investigaciones. Para asegurar que se incluyan estudios pertinentes durante la búsqueda realizada se dio énfasis a los siguientes puntos:

- **Objetivo:** Detectar las corrientes en el ámbito de estudio sobre la implementación de técnicas Lean Construction en esquemas de administración enfocados en optimizar el desempeño operativo en compañías dedicadas a la fabricación de materiales para la construcción.
- **Ámbito Temático:** Lean Construction, Lean Manufacturing, Modelo de gestión, Eficiencia Operativa, Gestión en empresas de adoquines.
- **Dominios de Investigación:** en el dominio de la presente investigación, se exploraron sectores de gran importancia en la gestión de proyectos de construcción y Construcción Lean; particularmente en la implementación de enfoques Lean en el sector de la construcción y la fabricación de materiales prefabricados como los adoquines. Esta información abarca los aspectos de gestión colaborativa, mejora procesual, eficiencia operativa y la disminución de desperdicios.
- **Idioma:** A la revisión se le agregaron artículos tanto en inglés como en español con el fin de abarcar la mayor información posible y tener en cuenta diferentes perspectivas en las regiones relevantes que puedan generar información valiosa.
- **Fecha de Publicación:** En esta parte se examinaron los informes difundidos desde el 1 de enero de 2020 hasta el 31 de agosto de 2024, cuya información fue obtenida de plataformas reconocidas en el ámbito de la investigación como Scopus, Web of Science y Scielo, plataformas orientadas a garantizar una revisión completa con información actualizada.

En la Tabla 2 se muestra el método que se empleó para la elección de los artículos relevantes, mediante el uso de las palabras claves específicas para desarrollar la búsqueda, esto con el fin de seleccionar los artículos de las revistas indexadas en las bases de datos de Scopus, Web of Science y Scielo, consiguiendo así una gran cobertura de información respaldada por información valiosa dentro de la comunidad científica.

Tabla 2

Descriptores de búsqueda para conformación de las Ecuaciones Booleanas

Base de datos	Descriptores de búsqueda	Ecuaciones Booleanas
Scopus	Search within Article title, Abstract, keywords: Para enforcarnos en Lean Construction, empleamos los siguientes términos “Lean Construction*” OR “Lean Manufacturing*” OR “Lean Production*” OR “lean management*” OR “waste reduction*” OR “efficienc*”. Para enfocarnos en modelos de gestión, empelamos los siguientes términos “collaborative management*” OR “team collaboration*” OR “shared management*” OR “integrated project delivery*” OR “IPD”) OR (“construction management*” OR “project management*”). Refine by: <i>Year:</i> Range 2020-2024. <i>Subject areas:</i> Engineering. <i>Document type:</i> Article. <i>Language:</i> Limited to English and Spanish. <i>Access type:</i> Open Access.	TITLE-ABS-KEY ((“Lean Construction*” OR “Lean Manufacturing*” OR “Lean Production*” OR “lean management*” OR “waste reduction*” OR “efficienc*”) AND (“collaborative management*” OR “team collaboration*” OR “shared management*” OR “integrated project delivery*” OR “IPD”) OR (“construction management*” OR “project management*”)) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “ENGI”)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , “ar”)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , “English”) OR LIMIT-TO (LANGUAGE , “Spanish”)) AND (LIMIT-TO (OA , “all”))
Web of Science	Search topic: Para enforcarnos en modelos de gestión colaborativos y Lean Construction, empleamos los siguientes términos “collaborative management*” OR “team collaboration*” OR “shared management*” OR “Lean Construction*” OR “lean management*” OR “waste reduction*” OR “optimization*”	(“Lean Construction*” OR “Lean Manufacturing*” OR “Lean Production*” OR “lean management*” OR “waste reduction*” OR “efficienc*”) AND (“collaborative management*” OR “team collaboration*” OR “shared management*” OR “integrated project delivery*” OR “IPD”) OR (“construction management*” OR “project management*”) (Topic)

Base de datos	Descriptores de búsqueda	Ecuaciones Booleanas
SCielo	“efficiency*” OR “performance improvement*”. Para evaluar metodologías y prácticas, incluimos los términos “assessment*” OR “evaluation*” OR “best practices*” OR “metrics*” OR “continuous improvement*” OR “innovation*”. Refine results by: <i>Quick filters:</i> Open Access <i>Publication Years:</i> 2020-2021-2022-2023-2024. <i>Document types:</i> Article. <i>Web of Science Categories:</i> Engineering Civil, Engineering Industrial. <i>Language:</i> English - Spanish. Buscar dentro de Título: Para enforarnos en Lean, empleamos los siguientes términos “Lean Construction*” OR “Lean Manufacturing” OR “Lean Production*” OR “lean management*” OR “reducción de residuos*” OR “eficiencia*” <i>Año de publicación:</i> 2020-2024 <i>Scielo Áreas temáticas:</i> Engineering. <i>Document types:</i> Article. <i>Tipo de documento:</i> Artículo	and Open Access and 2024 or 2023 or 2022 or 2021 or 2020 (Publication Years) and Article (Document Types) and Engineering Civil or Engineering Industrial (Web of Science Categories) and English or Spanish (Languages) (ti:(((ti:((Lean Construction*) OR (Lean Manufacturing*) OR (Lean Production*) OR (lean management*) OR (reducción de residuos*) OR (eficiencia*))))))

Nota: Adaptado de Muyulema Allaica et al. (2024).

1.2.3. Definición de criterios de inclusión y exclusión

Tomando en cuenta los aportes realizados por Narváez-Narváez et al. (2023), los criterios de inclusión y exclusión deben determinarse adecuadamente y conforme al estudio específico, de tal manera que se pueda seleccionar los artículos más relevantes que servirán como fundamento teórico adecuado para el desarrollo de una investigación. Estos criterios de inclusión y exclusión tienen el objetivo de seleccionar una muestra inicial que

garantice el equilibrio óptimo entre cantidad y calidad de los trabajos para el análisis bibliométrico.

En la Tabla 3 se pueden ver los criterios que se emplearon para decidir los documentos que se van a incluir y excluir en la revisión bibliométrica. Se desarrolló un procedimiento de selección con el fin de garantizar resultados que estén en línea con los objetivos de la investigación, con el fin de concentrar la búsqueda de manera que se puedan seleccionar documentos relevantes del tema considerado. Como criterio de inclusión, se tomaron en cuenta las palabras claves relacionadas con el modelo de gestión colaborativo, Lean Construction y proceso de producción en las empresas de adoquines, con el objeto de obtener documentos que aborden aspectos claves relacionados directamente con la investigación. A continuación, se presentan los criterios establecidos para guiar esta revisión documental de manera estructurada y coherente.

Tabla 3

Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Los documentos deben ser únicamente artículos científicos.	Artículos que no sean de acceso abierto o que requieran suscripción para acceder al contenido completo.
Artículos que tengan relación con los modelos de gestión colaborativa en empresas, especialmente en el contexto de Lean Construction.	Artículos que no estén directamente relacionados con los temas de modelos de gestión o Lean Construction.
Artículos que presenten una metodología detallada y rigurosa, adecuada para el análisis y evaluación de modelos de gestión.	Artículos publicados fuera del rango de fechas especificado (antes del 01 de enero de 2020 o después del 31 de julio de 2024).
Artículos que utilicen métodos cualitativos y cuantitativos relevantes para la investigación.	Artículos duplicados dentro de la base de datos revisada.
Artículos que se centren en el área de ingeniería	Artículos con incoherencias entre el resumen, los objetivos y los resultados.
Artículos en inglés o español	Artículos en idiomas distintos al inglés y español.
Artículos publicados en revistas científicas revisadas por pares.	

1.2.4. Establecimiento de criterios de calidad

Narváez-Narváez et al. (2023) han ideado una técnica para valorar la excelencia de los análisis según sus variables específicas envueltas en la investigación científica; esta estrategia se fundamenta en un total de siete criterios expuestos detalladamente en la Tabla 4. Cada uno de estos criterios es evaluado mediante tres posibles calificaciones distintas: - No cumple (-1), Cumple parcialmente (0), Cumple plenamente (+1). Por ende y en consecuencia de esta configuración de evaluación, cada informe y estudio tiene la opción de conseguir una calificación que va desde - 9 hasta + 9.

Tabla 4

Criterios de calidad

N.º	Criterio de calidad	Puntuación		
		+1	0	-1
1	El artículo aborda significativamente la gestión colaborativa y su impacto en la eficiencia.	Cumple plenamente	Cumple parcialmente	No cumple
2	El artículo describe claramente el problema de investigación relacionado con el modelo de gestión y Lean Construction.	Cumple plenamente	Cumple parcialmente	No cumple
3	El artículo sigue un proceso de investigación bien estructurado en la evaluación del modelo de gestión en Lean Construction	Cumple plenamente	Cumple parcialmente	No cumple
4	El artículo proporciona definiciones precisas de conceptos clave relacionados con el modelo de gestión y Lean Construction.	Cumple plenamente	Cumple parcialmente	No cumple
5	El artículo presenta herramientas y metodologías relevantes para mejorar la eficiencia en proyectos de construcción.	Cumple plenamente	Cumple parcialmente	No cumple
6	El artículo propone métodos para medir el impacto de la gestión colaborativa en la eficiencia operativa.	Cumple plenamente	Cumple parcialmente	No cumple
7	El artículo presenta resultados de forma clara y fácil de entender al evaluar cómo afectan a la eficiencia.	Cumple plenamente	Cumple parcialmente	No cumple
8	El artículo resalta aportes importantes para mejorar la eficiencia en las operaciones.	Cumple plenamente	Cumple parcialmente	No cumple
9	El artículo ha sido citado (n = citas)	Cumple plenamente	Cumple parcialmente	No cumple

Nota: Adaptado de Narváez-Narváez et al. (2023).

1.2.5. Ejecución de la búsqueda

1.2.5.1. Selección de trabajos primarios

El proceso de búsqueda inició con una revisión preliminar mediante el uso de una ecuación booleana, que consideró términos directamente relacionados con las variables de estudio en las bases de datos Scopus (<https://www.elsevier.com>), Web of Science (<https://www.webofscience.com>) y Scielo (<https://scielo.org/>). Durante la fase inicial se identificaron 23,678 publicaciones que se relacionan con la investigación. Luego de aplicar los respectivos filtros disponibles en cada una de las bases de datos, y tomando los criterios de exclusión ya definidos, se eliminaron 22,651 artículos. Además, se descartaron 92 artículos que se encontraban duplicados en distintas bases de datos. Por último, se excluyeron 850 artículos por no cumplir con los criterios de calidad que se establecieron anteriormente, obteniendo así un total de 85 artículos seleccionados para desarrollar la revisión bibliométrica.

Tabla 5

Selección de trabajos primarios por base de datos

Base de datos	Revisión preliminar	Criterios de exclusión	Diferencia	Porcentaje
Scopus	9973	9933	40	47,06%
Web of Science	10512	10481	31	36,47%
Scielo	3193	3179	14	16,47%
Total	23678	23593	85	100,00%

La revisión bibliométrica se estructuró en dos secciones principales empleando VOSviewer, siguiendo la metodología propuesta por Reyes-Soriano et al. (2022): análisis de coocurrencia y coautoría. El análisis de coocurrencia o también conocida como red semántica, es una herramienta que se encarga de examinar la relación de las palabras claves presentes en cada artículo científico para identificar las tendencias temáticas y las nuevas áreas de interés en un área de interés específico. El programa informático VOSviewer es una herramienta visual que permite crear representaciones visuales y bien detalladas de las conexiones entre esta red semántica con el fin de proporcionar una visión general de la estructura del conocimiento.

Por otra parte, el estudio de la coautoría cumple con el objetivo de analizar las colaboraciones que hay entre distintos autores y sus respectivas afiliaciones institucionales, mediante la generación de una red de cooperación que se crea a través de estas colaboraciones, con el objeto de determinar los actores más relevantes en el ámbito a estudiar y obtener visión más completa sobre la estructura del avance y la identificación de posibles futuras colaboraciones (Reyes-Soriano et al., 2022).

Durante el análisis de coocurrencias, se revisaron las palabras claves que se extrajeron de los artículos y se estableció como un criterio que cada una de las palabras tuviera por lo menos cinco repeticiones en los textos analizados. Con esto, de las 641 palabras claves que se pudieron identificar en los 85 artículos examinados solo 16 cumplían con este requisito, asegurando así que el estudio se encuentre focalizado en los términos con más relevancia y poder así detectar los patrones y relaciones que tengan más significancia con los conceptos de la investigación.

La herramienta VOSviewer al ser muy visual, hizo más fácil calcular las conexiones entre estos términos claves y la fuerza total que hay entre dichas conexiones y las coocurrencias entre las palabras claves. Los vínculos generados por VOSviewer, muestran como los términos se encuentran relacionados entre sí, mientras que la intensidad total de cada vínculo indica la frecuencia en que se menciona cada termino en comparación a los demás. Estas coocurrencias evalúan el número de artículos en la que incluyen una palabra clave junto a otra que sea diferente para poder identificar las conexiones temáticas dentro del área de investigación.

La Tabla 6 muestra las palabras clave más recurrentes, siendo estas: “Construcción sin pérdidas”, “Gestión de la construcción”, “Industria de la construcción”, “Producción sin pérdidas” y “Construcción”, con frecuencias de 22 (54), 20 (40), 18 (49), 16 (56) y 12 (38), respectivamente.

Tabla 6*Palabras clave con mayor coherencia*

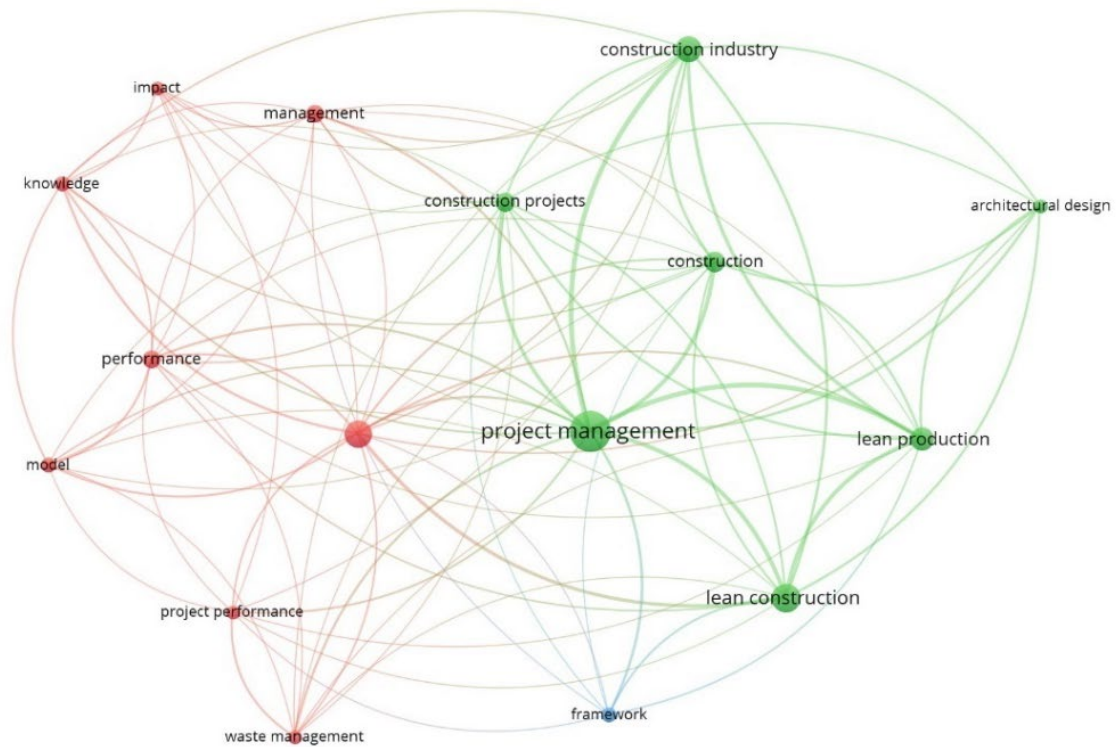
N.º	Palabras clave	Traducción de la palabra clave	Número de clúster	Enlaces	Fuerza total del enlace	Ocurrencias
1	Lean Construction	Construcción sin pérdidas	2	12	54	22
2	Construction management	Gestión de la construcción	1	15	40	20
3	Construction industry	Industria de la construcción	2	12	49	18
4	Lean production	Producción sin pérdidas	2	12	56	16
5	Construction	Construcción	2	13	38	12
6	Construction projects	Proyectos de construcción	2	14	33	11
7	Performance	Desempeño	1	12	22	9
8	Management	Gestión	1	11	17	9
9	Project management	Gestión de proyectos	2	15	99	7
10	Waste management	Gestión de residuos	1	10	16	5
11	Project performance	Desempeño del proyecto	1	10	15	5
12	Impact	Impacto	1	8	10	5

Las conexiones entre las palabras clave se mostraron mediante un diagrama en red que ofrece una representación visual de cómo los términos se agrupan y se relacionan dentro del estudio. En la Figura 2 se puede apreciar que las 641 palabras clave están divididas en tres grupos distinguibles por los colores verde, rojo y azul. Al visualizar la separación generada, se puede determinar cómo las palabras clave similares tienden a aparecer juntas en los documentos revisados; evidenciando así, temas y áreas de investigación que se encuentran relacionadas entre sí; observando así, que los elementos más grandes de cada grupo son lo que se encuentran en una mayor frecuencia de coocurrencia entre sí mismos, mostrando la cercanía que hay entre estos elementos refleja una relación entre palabras claves. Todo este proceso de análisis se realiza con el fin de determinar los temas esenciales y los patrones emergentes en la investigación y así identificar las áreas de

interés y la relación que hay entre conceptos. Por lo tanto, el gráfico en red se vuelve una herramienta vital para comprender la estructura y desarrollo del conocimiento en el campo investigativo.

Figura 2

Mapa de coocurrencias



De los 85 artículos encontrados sobre modelos de gestión basados en Lean Construction se reconocieron contribuciones de 22 países diferentes en total. En la Tabla 7 se detallan los 10 países más prominentes que representan el 76% del número total de publicaciones halladas. Estos países han producido un total de 65 artículos que han sido citados en un total de 1074 ocasiones. Esta distribución pone en conocimiento la importancia significativa que tienen las distintas naciones en una investigación que se encuentra relacionada a la implementación de los métodos Lean en la producción de los materiales de construcción y su impacto a nivel global dentro de la literatura científica.

Tabla 7*Países con mayor número de publicaciones*

N.º	País	Documentos	Citas
1	Reino Unido	17	256
2	Países Bajos	9	226
3	Perú	8	179
4	Egipto	3	104
5	China	1	85
6	Suiza	14	65
7	Canadá	2	55
8	Estados Unidos	7	46
9	México	2	33
10	Alemania	2	25

Desde el 1 de enero de 2020 en adelante se ha observado un aumento en la investigación sobre Lean Construction en la industria de materiales de construcción; particularmente el Reino Unido sobresale liderando el camino con 17 publicaciones y 256 referencias citadas enfocándose en la sustentabilidad y eficiencia impulsadas por políticas gubernamentales. Países Bajos destacan por tener una infraestructura avanzada y un buen enfoque académico orientado a la optimización de procesos ya que cuenta con 9 publicaciones y 226 citas. Por otro lado, Perú muestra un creciente interés en adaptar Lean Construction, con 8 publicaciones y 179 citas, marcando así una tendencia creciente. Suiza cuenta con 14 documentos y 65 citas lo que refleja una consistente historia en la ingeniería y la construcción sostenible. Por otra parte, China y Egipto presentan la menor cifra de publicaciones (1 y 3 respectivamente), pero con alta cifra de citas (85 y 104 respectivamente), lo que determina su relevancia en el campo científico y demostrando la calidad antes que la cantidad. Tomando en cuenta estos hallazgos, se puede comentar que estos países, así como sus necesidades económicas particulares ha tenido un gran efecto sobre la relevancia en el ámbito de la construcción eficiente y el interés en la reducción de desperdicios.

1.2.6. Definición de criterios de análisis

Por lo general, los documentos que son muy citados significan que han tenido un impacto duradero en su campo de estudio (Carrizo & Moller, 2018; Mahajan et al., 2023). Estos documentos tienden a convertirse en puntos de referencia para desarrollar más investigación, logrando así desarrollo de teorías y direccionado a futuras investigaciones

(Govindan et al., 2024). Por lo tanto, la alta frecuencia de las citas dentro de un estudio sugiere que su contenido ha tenido un amplio reconocimiento y ha sido utilizado por otros investigadores como referente dentro de un campo específico de investigación (Benachio et al., 2020). Por lo tanto, se vuelve imprescindible llevar a cabo un análisis detallado para comprender cómo estos documentos han impactado en el avance del conocimiento dentro de sus respectivas áreas. En el marco de un Mapeamiento Sistemático de la Literatura resultará fundamental establecer los criterios de análisis para evaluar y resumir la literatura revisada. Este procedimiento implica utilizar la Tabla 1 “Preguntas de la investigación bibliométrica” como referencia para el análisis de datos; Tabla 2 “Descriptores de Búsqueda para conformación de las Ecuaciones Booleanas”, que sirve para llevar a cabo investigaciones exhaustivas; y las Tablas 3 “Criterios de Inclusión y Exclusión”, que ayudan a seleccionar los artículos más pertinentes. Además de ello, en la Tabla 4 “Criterios de Calidad”, es utilizada para garantizar la validez y solidez de los estudios realizados.

1.2.7. Análisis de resultados

En esta sección se detalla el análisis de 65 artículos seleccionados que investigan distintas formas de aplicar Lean Construction entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de agosto de 2024. El estudio aborda aspectos como la distribución temporal de las publicaciones mencionadas y la calidad de los artículos examinados junto a las propuestas y metodologías empleadas en la recopilación de datos.

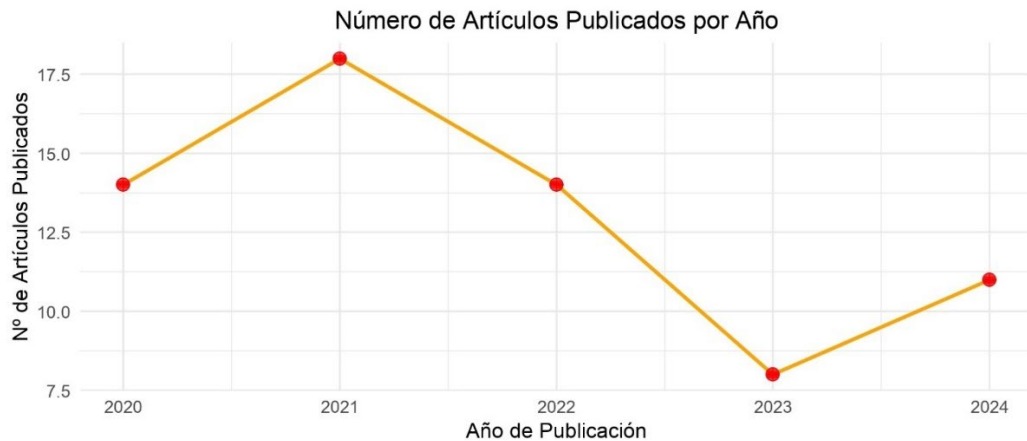
M1. ¿Cómo se distribuyen temporalmente los artículos científicos seleccionados?

En la Figura 3 se ven reflejadas las variaciones en la producción científica relacionada con las variables de estudio, analizadas desde el 1 de enero de 2020 hasta el 31 de agosto de 2024. Se observa un aumento notable durante el año 2021, con 18 artículos publicados (28%) (A15,..., A32) lo que posiciona a este año como el de mayor actividad investigativa en comparación con el resto de los años. Por otro lado, en los años 2020 y 2022 se muestra una tendencia semejante ya que se publicaron 14 artículos en cada uno (22%) (A1,..., A14 y A33,..., A46 respectivamente). Toando en cuenta la cantidad de publicaciones durante estos dos años contrasta notablemente con lo sucedido en 2023, año en el que se experimentó una disminución muy marcada al registrar únicamente la publicación de 8 artículos (12%) (A47,..., A54). Esto evidencia una baja en la actividad investigativa. Sin embargo, en el año 2024 aunque aún no ha finalizado el año se han

registrado ya 11 artículos (17%) (A55,..., A65), mostrando un ligero aumento en comparación al año previo y sugiriendo una posible renovación del interés en las variables de estudio.

Figura 3

Distribución temporal de los artículos publicados



M2. ¿Cuál es la calidad de los artículos científicos seleccionados?

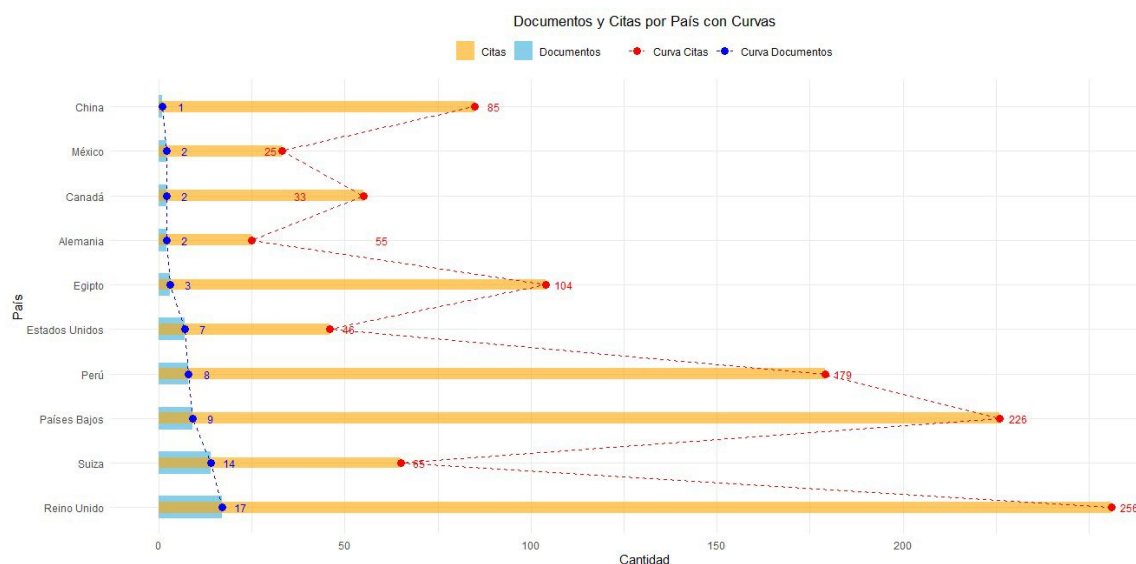
En la Figura 4 se muestra la comparación visual en la que se resalta la conexión entre la actividad científica y las citas recibidas por cada país, viendo las líneas de tendencia que describen el desarrollo de estos datos a lo largo del tiempo. Entonces, estas líneas de tendencia son útiles para reconocer los países que tienen un impacto alto en el ámbito científico, con el fin de evidenciar la relación entre sus producciones y el reconocimiento académico recibido a través de las citas.

Analizando la gráfica comparativa podemos ver que, Reino Unido sobresale al tener una mayor cantidad de citas (256 en total) y un número significativo de producción de documentos (17 en total), promediando así 15.06 citas por documento, lo que indica una alta visibilidad y un gran impacto en la comunidad científica a nivel mundial. Por otro lado, China solamente cuenta un documento producido, pero se ve que su promedio de citas por documento es muy alto: 85.00 citas, lo que nos indica que este país tiene un impacto significativo en la comunidad científica, aunque tenga una baja producción. Países Bajos y Egipto tienen un promedio de 25.11 y 3.67 de citas por documento respectivamente. Países Bajos cuentan en total 226 citas distribuidas en 19 documentos producidos, mientras que Egipto acumula 104 citas en solo tres documentos producidos.

A pesar de tener menos documentos publicados su alta tasa de citaciones sugiere una influencia significativa en sus respectivos campos de investigación. Canadá tiene un promedio de 27 citas por documento en 55 citas distribuidas en 2 documentos que destacan por tener un impactante reconocimiento en comparación a su producción documental anteriormente mencionada. Por otro lado, Perú tiene un promedio de 22 citas por documento y 179 citas distribuidas en 8 documentos lo cual demuestra que ha tenido un buen impacto en su campo a pesar de tener una cantidad moderada de documentos producidos anteriormente. México y Alemania tienen promedios de 16 y 12 citas por documento respectivamente. Suiza presenta un promedio de 6:50 citas por documento en 65 citas distribuidas en 10 documentos, lo cual es considerado relativamente bajo en comparación a otros países aun teniendo una cantidad moderada de documentos; esto podría indicar una influencia relativa menor en contraste a países que poseen promedios más elevados. En pocas palabras se concluye que la evaluación del impacto y calidad de la producción científica a nivel mundial se ve mejor representada por la media de citas por documento que por el simple número total de documentos.

Figura 4

Comparación de la media de citas por documento entre países



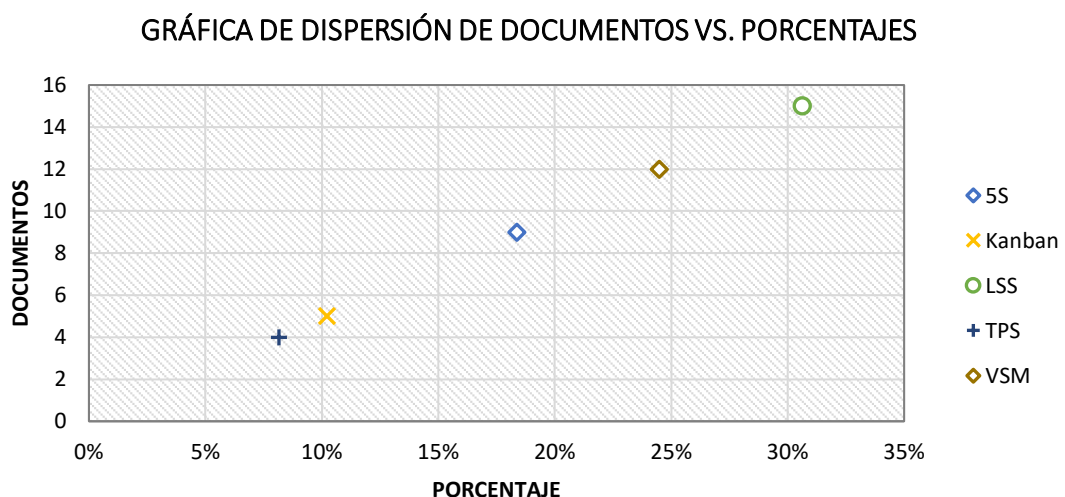
M3. ¿Qué soluciones se sugirieron en los artículos seleccionados?

GUEFERZA al ser una empresa de fabricación y distribución de adoquines, tiene como meta emplear estrategias que mejoren sus números tanto en ventas como en la reducción de desperdicios, optimizando así estos recursos. Las compañías que se dedican a la

elaboración de materiales de construcción requieren siempre de optimizar los procedimientos que involucran esta sintetización y generar una alta competitividad en el mercado (Aslam et al., 2021). La metodología de Lean Construction es una solución para mejorar la gestión tanto de personal como de materiales, al incorporar métodos y herramientas de mejora continua, eliminación desperdicios y de tiempos muertos; con el objetivo de reducir costos y maximizar ganancias (Kifokeris & Tezel, 2023). En la Figura 5 se puede evidenciar los métodos Lean más compatibles con las empresas que se dedican a la producción de los prefabricados de hormigón y producción in situ de hormigón. No solo se han identificado áreas para mejorar, sino que también han facilitado la toma de decisiones estratégicas que aumentan la eficiencia y ayudan en la reducción de gastos.

Figura 5

Métodos “Lean” orientados a mejora continua y reducción de desperdicios



En el marco de la metodología Lean se destaca el Lean Six Sigma (LSS), posicionándose como la técnica más empleada en el ámbito de la investigación en un 30.61%. LSS se caracteriza por su enfoque dual que fusiona la erradicación de desperdicios (Lean) junto a la reducción de la variabilidad y el perfeccionamiento de la calidad (Six Sigma). Este enfoque lo convierte en una alternativa estratégica para optimizar los procesos de producción y potenciar la eficiencia operativa globalmente.

El mapeo del flujo de valor (VSM) es una técnica que se utiliza en un 24.49% de los casos. Esta metodología es fundamental para visualizar y analizar cómo fluye el valor dentro del proceso productivo, lo cual ayuda identificar áreas ineficientes y optimizar la alineación entre las actividades realizadas y el valor final entregado al cliente. Por lo

tanto, el VSM tiene la meta de cartografiar procesos y detectar posibles obstáculos u acciones que no añaden valor alguno para proceder a rectificarlos.

Por otro lado, la metodología 5S también presenta un papel relevante, siendo adoptada en un 18.37 % de los casos. Este método tiene un enfoque orientado a mantener el orden y la limpieza en el lugar de trabajo mediante la búsqueda de herramientas o materiales necesarios que ayuden a desarrollar las actividades diarias de manera más efectiva, con el fin de crear un entorno más eficiente y seguro que favorece la productividad y minimizando las pérdidas de tiempo.

Además del Kanban que representa un 10.20%, otro método Lean importante es enfocado en la gestión visual y el flujo continuado de trabajo para coordinar las tareas de manera efectiva y reducir los excesos en los procesos operativos. La implementación de este método permite una mejor administración de la demanda en tiempo real para mejorar la eficiencia operativa general. Por último, el Toyota Production System (TPS), que registra un 8,16%, también tiene un papel relevante. Este sistema, desarrollado por Toyota, es la base de los principios Lean y se centra en la producción eficiente a través de la eliminación de desperdicios y la mejora continua. Cada uno de estos métodos ofrecen un enfoque integral para la mejora continua en el sector, siendo fundamental seleccionar la metodología adecuada según los objetivos y necesidades específicas de cada empresa.

P4. ¿Cuáles fueron los métodos, técnicas y herramientas utilizadas para la recolección de información en cada uno de los artículos seleccionados?

Paradigma de investigación cualitativa – caso individual

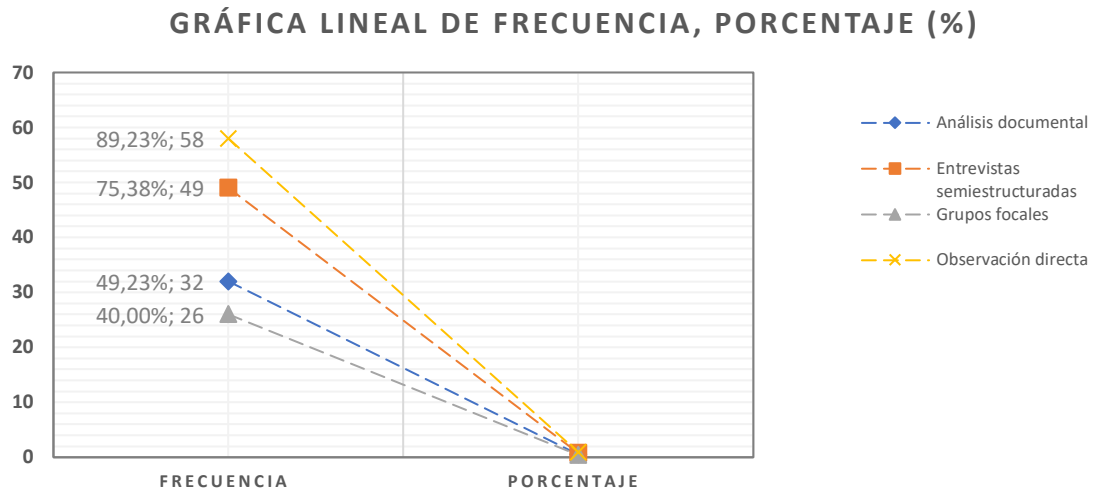
La eficiencia operativa y la optimización en la manufactura de materiales son esenciales para maximizar las ganancias mediante la reducción de tiempos y costos. En un entorno global que cada vez valora más la optimización, es crucial avanzar desde las herramientas tradicionales hacia enfoques basados en la metodología Lean Construction (Tezel et al., 2020). Para alcanzar una mejora significativa en la industria de manufactura de materiales es esencial comprender las estrategias de recolección de datos que son clave para medir y evaluar estos esfuerzos (Albalkhy & Sweis, 2021b).

Una evaluación adecuada de las herramientas y las técnicas utilizadas para la recolección de datos resulta algo fundamental para la implementación de estrategias efectivas de la mejora en la industria. Mediante la aplicación y conocimiento más estilizado de estas técnicas, se puede llegar a optimizar la eficiencia operativa y reducir los costos, además

de una transición exitosa desde los métodos actuales a métodos más avanzados como es la metodología Lean Construction. En la Figura 6 se puede evidenciar las técnicas de recolección de datos cualitativos que se usan frecuentemente en este campo.

Figura 6

Técnicas de recolección de datos cualitativos - caso individual



La Observación Directamente (OD) fue utilizada en un total de 58 ocasiones es decir el 89.23%, siendo la técnica más común para recopilar datos cualitativos debido a su capacidad para ofrecer una visión muy clara e imparcial de los procesos involucrados en la sintetización de prefabricados. Las Entrevistas Semiestructuradas (ES) también tienen una gran presencia, siendo utilizado en un total de 49 situaciones ósea el 75.38%, destacando su flexibilidad al momento de obtener información detallada y adaptable para los actores principales en la fabricación.

El Análisis Documental (AD) tuvo una aplicación en 32 situaciones con un 49.23%, comportándose como un complemento para otras estrategias mediante la revisión de material escrito para contextualizar y validar información disponible. Por último, los Grupos Focales (GF) fueron aplicados en 26 casos es decir el 40%, por lo tanto, estos grupos ofrecieron una recopilación de distintos puntos de vista, pero su uso fue el menos frecuente en comparación con el resto de las técnicas. En su conjunto estas estrategias proporcionan un enfoque completo para la recolección de información cualitativa; es esencial elegir la más apropiada dependiendo del entorno y los objetivos de la investigación.

Paradigma de investigación cualitativa – Casos con Múltiples Técnicas

Todos los 65 artículos (100%) emplearon diversas estrategias de recopilación de datos indicando una inclinación por enfoques integrados para lograr una comprensión más exhaustiva de los fenómenos estudiados. La utilización de varios métodos posibilitó la exploración de los fenómenos desde distintas órdenes de análisis ofreciendo una perspectiva completa y detallada del tema en cuestión (Tabla 8).

Tabla 8

Casos con múltiples técnicas

Combinación	N.º de Casos	Porcentaje (%)
AD+ES+OD	20	30,77%
ES+OD	12	18,46%
GF+OD	12	18,46%
AD+ES+GF+OD	9	13,85%
ES+GF+OD	5	7,69%
AD+ES	3	4,62%

La combinación de técnicas de recolección de datos permite una visión más holística y detallada del análisis en el contexto de la investigación de Lean Construction. La combinación AD + ES + OD se empleó en 20 casos (30,77%), siendo la más frecuente. Esta combinación de análisis documental (AD), entrevistas semiestructuradas (ES), y observación directiva (OD), proporcionando una cobertura integral al integrar el contexto teórico del análisis documental, la exploración de las percepciones internas de actores clave a través de entrevistas y la validación in situ de estos datos por medio de la observación directiva de procesos.

Las combinaciones de ES+OD y GF+OD fueron utilizadas en 12 ocasiones (18.46 % cada una), lo que permite la unión entre la exploración subjetiva y la narrativa junto al análisis empírico, esto es muy indispensable para comprender tanto las percepciones como la implementación de manera efectiva de las metodologías Lean en este tipo de proyectos.

Otra combinación que tiene un peso significativo es AD+ES+GF+OD, la cual se empleó en un total de 9 casos (13.85%), obteniendo así una gran cantidad de datos al integrar cuatro técnicas de recolección, incorporando así, las perspectivas que los Grupos focales ofrecen (GF) con el análisis documental (AD), la observación directa (OD) y entrevistas

(ES) proporcionando un equilibrio entre teoría percepción colectiva y observación empírica.

La combinación de ES+GF+OD fue aplicada en un total de 5 casos (7.69%) y AD+ES utilizada en 3 casos (4.62%), lo que indica que las entrevistas, los grupos focales y la observación siguen siendo una combinación muy eficaz y muy recurrente para recopilar información tomando en cuenta varios puntos de vista.

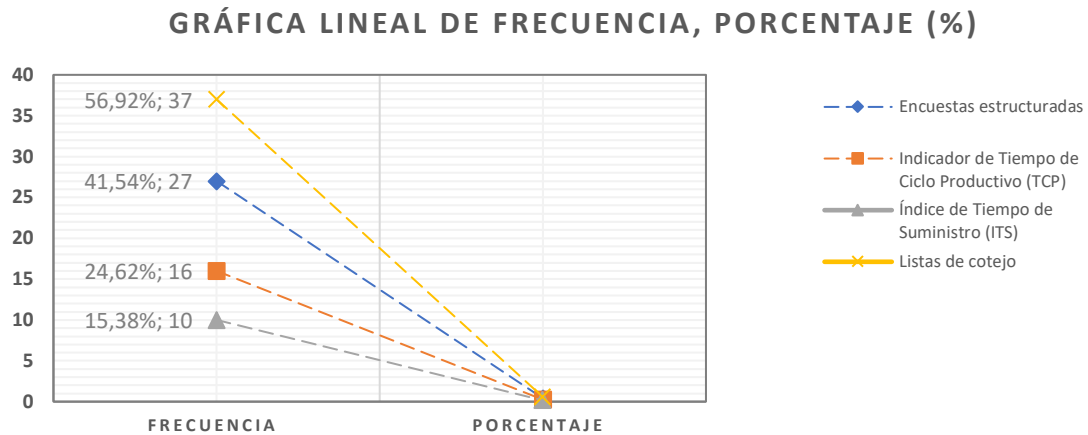
Entonces, estas mezclas son esenciales para desarrollar un enfoque de gestión colaborativa, mediante la recolección de datos variados y contextualizados de manera adecuada, con el fin de garantizar que la propuesta refleje tanto la teoría como la realidad observada en los procesos de producción.

Paradigma de investigación cuantitativa - caso individual

Las empresas que se dedican a la fabricación de adoquines se enfrentan a desafíos muy particulares, debido al aumento de la competitividad en el mercado de la construcción, por lo que se han visto en la necesidad de optimizar la distribución y el manejo de los materiales, esto pone en consideración la importancia de desarrollar nuevas metodologías que faciliten la evaluación de los procesos operativos y el mejoramiento de los mismos (Sarhan et al., 2020). Es fundamental examinar las estrategias de recopilación de información utilizadas en estudios vinculados a la aplicación de la metodología Lean Construction en una compañía especializada en pavimentación de adoquines. El presente estudio analiza las técnicas de recolección de datos empleadas en investigaciones relacionadas con la implementación de la metodología Lean Construction en una empresa de adoquines. A partir del análisis de 65 artículos, se registraron las más utilizadas y se calcularon las combinaciones más frecuentes, proporcionando un enfoque detallado para el diseño de estrategias colaborativas (Figura 7).

Figura 7

Técnicas de recolección de datos cuantitativo - caso individual



La técnica más utilizada es la de Listas de Cotejo, presente en 37 casos (56,92%). Este elevado porcentaje muestra la relevancia de esta técnica para examinar el acatamiento de normas y criterios establecidos previamente en la evaluación de procedimientos operativos, resultando crucial en enfoques Lean como LSS, 5 S y Kanban. Las encuestas estructuradas se utilizaron en 27 situaciones (41,54%), lo que evidencia su importancia en la recopilación de datos cuantitativos sobre la percepción de los empleados y la eficiencia de los procesos en las empresas; aspectos fundamentales al plantear un modelo de gestión colaborativa.

El índice de Tiempo de Ciclo Productivo (TCP) se encuentra presente en 16 investigaciones (24,62%), lo que resulta una técnica clave que nos permite medir la duración de los ciclos productivos y también nos permite evaluar las posibles mejoras en la productividad, siendo un elemento que juega un papel importante en metodologías como VSM y JIT.

Por otro lado, el Índice de Tiempo de Suministro (ITS) fue utilizado en 10 estudios (15,38%), esta técnica se centra en evaluar la eficiencia de los plazos de suministro y la distribución, además tiene particular relevancia en los modelos Lean orientados específicamente a optimización de tiempo como lo es el Just-in-Time (Justo a Tiempo) y la optimización de cadenas de suministro.

El análisis de estas frecuentes indicaciones sugiere que los investigadores en el ámbito de los modelos de gestión colaborativa suelen emplear métodos cuantitativos como las listas

de verificación y las encuestas estructuradas para obtener una comprensión clara y detallada de la eficiencia operativa. En conjunto, estos enfoques permitirían una evaluación minuciosa del impacto que los modelos propuestos tienen en la optimización de procesos y la disminución de residuos en empresas como aquellas dedicadas a la fabricación de adoquines. Este análisis también sugiere que medir tiempos de ciclo y suministro es fundamental en la propuesta de mejoras operativas orientadas a Lean Construction, ofreciendo datos concretos para justificar la viabilidad del modelo planteado.

Paradigma de investigación cualitativa – Casos con múltiples técnicas

El estudio de las combinaciones de métodos aplicados en la evaluación de modelos de gestión basados en Lean Construction dentro de empresas de adoquines resalta tendencias clave en la selección de enfoques metodológicos por parte de los investigadores (Tabla 9).

Tabla 9

Casos con múltiples técnicas cuantitativas

Combinación	N.º de Casos	Porcentaje (%)
EE+LC	27	41,54%
ITS+LC	10	15,38%

La combinación generada por las Encuestas estructuradas y Lista de Cotejo (EE+LC) se vio aplicado en un 41,54% de los documentos analizados, es decir en 27 ocasiones. Al combinar la recopilación de opiniones a través de la Encuestas Estructuradas y la verificación objetiva en campo de las Listas de Cotejo, se puede demostrar la efectividad de esta combinación al proporcionar una evaluación minuciosa.

Dicha evaluación es la más completa de la implementación de modelos de gestión colaborativos basados en Lean Construction, garantizando que tanto los factores subjetivos como los parámetros operativos se consideren en el análisis. La alta frecuencia de esta técnica subraya su relevancia para evaluar de manera exhaustiva el rendimiento operativo y las percepciones dentro de las empresas. Por otro lado, la combinación de Índice de Tiempo de Suministro y Listas de Cotejo (ITS + LC) se presenta en 10 estudios (15,38%), enfocándose principalmente en medir la eficiencia en los tiempos de suministro, complementada por la verificación del cumplimiento de criterios operativos.

Esta unión es especialmente beneficiosa para enfoques Lean como Just InTime (JIT), donde la eficiencia en la cadena de suministro es fundamental. La utilización combinada de ITS y LC facilitan la identificación y validación de áreas que necesitan mejoras en los tiempos de entrega y abastecimiento; respaldando así la optimización de procesos dentro del modelo propuesto. El análisis de esta frecuencia indica que los investigadores confían en el uso conjunto de métodos cuantitativos y operativos para proporcionar una evaluación sólidamente fundamentada sobre las propuestas relacionadas al Lean Construction. Estas técnicas permiten medir tanto las percepciones internas como el desempeño operativo, asegurando que el modelo propuesto esté alineado con las expectativas y necesidades de la empresa, mientras que se monitorean indicadores clave como los tiempos de ciclo y suministro para justificar la viabilidad del modelo.

1.2.8. Esquema de Caracterización

1.2.8.1. Esquematización

La propuesta de un modelo de gestión basado en Lean Construction (LSS) en empresas de adoquines implica la integración de herramientas Lean especializadas y técnicas de recolección de datos sólidas, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para realizar una evaluación exhaustiva de la efectividad del modelo.

1. Método “Lean”:

- **Lean Six Sigma (LSS):** se centra en la mejora constante y la disminución de la variabilidad en los procedimientos.

2. Técnicas de recolección de datos Cualitativas:

- **Análisis Documental (AD):** Este análisis facilita la exploración de documentos pertinentes para comprender el entorno y la historia del modelo mediante el uso de herramientas y de base de datos científicos para consolidar una buena base teórica de la investigación.
- **Entrevistas Semiestructuradas (ES):** Las entrevistas nos ayudan a recopilar información de primera mano de personas clave dentro de los procesos y

especialistas para explorar en detalle sus experiencias y puntos de vista sobre la ejecución del plan, con el objeto de tener información fiable y confiable.

- **Observación directa (OD):** Esta técnica proporciona una visión in situ del desarrollo de los procesos, lo que permite identificar de manera empírica los flujos de trabajo, con el objetivo de establecer las interacciones entre los equipos y los métodos “Lean” aplicados (LSS).

3. Técnicas de recolección de datos Cuantitativas:

- **Encuestas Estructuradas (EE):** Recogen datos sobre las percepciones y experiencias de los empleados con respecto al modelo de gestión.
- **Listas de cotejo (LC):** Estructuran parámetros de evaluación que el modelo debería cumplir, facilitando una evaluación simulada o teórica de cómo el modelo de gestión colaborativa aplicando LSS.

1.2.8.2. Delimitación

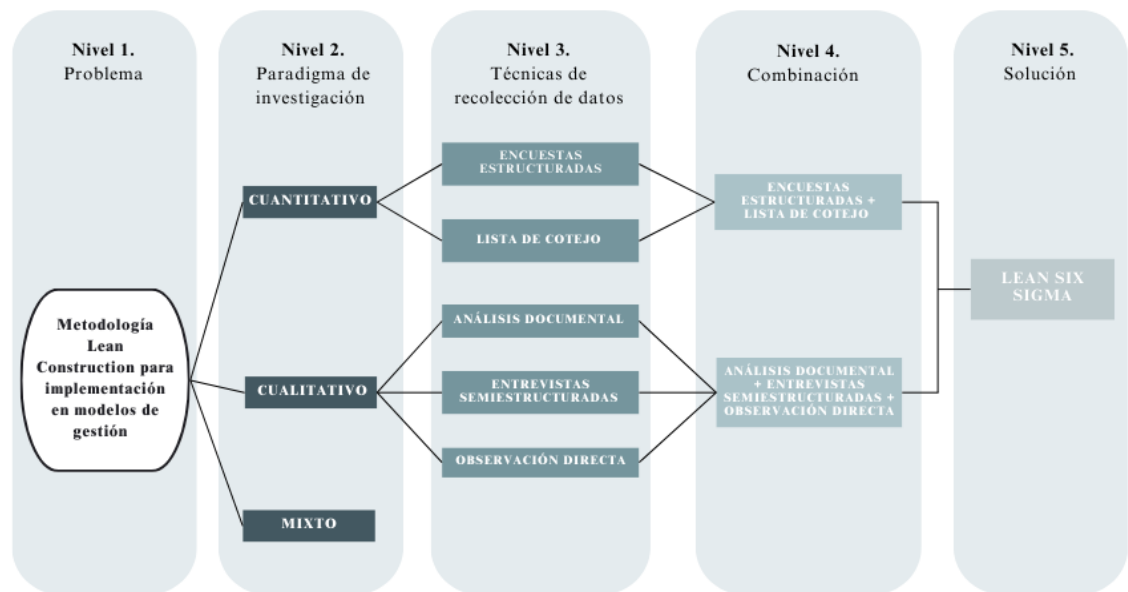
La definición del protocolo estándar es crucial para organizar de manera eficaz la evaluación del modelo de administración propuesto en este estudio. Este estudio se centra en:

- **Contexto:** Empresas dedicadas a la manufactura de adoquines que desean adoptar el enfoque de Lean Construction.
- **Objetivo:** Desarrollar un modelo de gestión que se ajuste a las particularidades del sector en cuestión y evaluar su viabilidad y efectividad.
- **Combinaciones de Técnicas:**
 - **Cualitativa:** AD + ES + OD, que proporcionan una perspectiva detallada sobre la viabilidad teórica del modelo y los potenciales beneficios.
 - **Cuantitativa:** LC + EE, que facilita una evaluación precisa del impacto del modelo en la eficiencia operativa.

Este enfoque integrado asegura que la propuesta del modelo de gestión esté bien fundamentada, utilizando un marco que permita la recopilación y análisis de datos relevantes para el sector de adoquines.

Figura 8

Protocolo para la implementación de herramientas Lean Construction en modelos de gestión



1.3. Conceptualizaciones

1.3.1. Lean Construction

Lean Construction es una metodología basada en Lean Manufacturing que es muy utilizada en la industria de la construcción, mediante el uso de prácticas que fomentan la mejora continua, Lean Construction busca aumentar la eficiencia y disminuir desperdicios (Albalkhy & Sweis, 2021b). El funcionamiento de Lean Construction se centra principalmente en reducir las actividades que no aportan valor alguno y generan demoras reiteradas o movimientos redundantes. Su propósito es lograr la entrega rápida de proyectos manteniendo altos niveles de calidad y utilizando menos recursos (Mohammadi et al., 2022).

Lean Construction se aplica a través de diversos métodos y prácticas como el Sistema del Último Planificador (Last Planner System), el Mapa del Flujo de Valor (Value Stream

Mapping), 5S y Kanban entre otros recursos utilizados en la planificación colaborativa y gestión eficiente de procesos en proyectos de construcción para maximizar la eficiencia en el uso de materiales y tiempo asegurando la generación de valor en cada actividad Xing et al. (2021).

El propósito central de Lean Construction es mejorar la productividad en los proyectos de construcción mientras se reduce el desperdicio en todas las fases de proyecto y de elaboración de materiales in situ. Se logra mediante la implementación de un enfoque de mejora continua que involucra a todos los participantes en el proyecto, para asegurar que los proyectos se completen a tiempo, dentro del presupuesto, y con una mayor satisfacción del cliente final (Garcés & Peña, 2023).

1.3.2. Lean Six Sigma

Lean Six Sigma (LSS) es una técnica de mejora constante que fusiona los conceptos de Lean y Six Sigma en conjunto. El LSS es una metodología estructurada para analizar y optimizar procesos mediante el uso de DMAIC (Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar), buscando mejorar la eficacia operativa a través de la reducción de costos y el incremento de la satisfacción del cliente (Marín-Calderón et al., 2023).

1.3.3. DMAIC SIX SIGMA

El Six Sigma surgió como una técnica para evaluar y supervisar la calidad en los procedimientos y se transformó en una filosofía de administración y planificación estratégica. En conjunto con Lean Manufacturing (Producción Ajustada), Six Sigma opera detectando fallos o imperfecciones en los procesos y aplicando un método meticuloso para corregirlos (Rahman et al., 2018). Su meta principal es disminuir gastos y tiempos de producción mientras elimina errores y aumenta la calidad de los productos y la satisfacción del cliente; esto resultará en un incremento de las ganancias (Shokri et al., 2022).

Dentro de los parámetros de Six Sigma, es importante determinar la medición de variación que está simbolizado con la letra griega ‘ σ ’ (sigma), mediante un medidor de desempeño se busca determinar los defectos en un millón de unidades producidas con el propósito de reducir al mínimo esta variación, teniendo como objetivo no exceder el 3.4 por cada millón de unidades fabricadas, esto es equivalente a una eficiencia en la

operación casi perfecta (100%). Esto permite a las organizaciones estandarizar procesos, reduciendo significativamente los errores y desperdicios (Gisbert Soler et al., 2018).

Six Sigma se aplica en dos niveles: el operacional y el gerencial. En el nivel operacional, se utilizan herramientas estadísticas que permiten monitorear y mantener los procesos dentro de los rangos de control establecidos, asegurando que se mantengan estables y predecibles. A nivel gerencial, se supervisan y analizan las actividades que originan los defectos para corregirlas y prevenir su recurrencia. Estas herramientas dobles contribuyen a mejorar la calidad de los procedimientos y fomentar un desarrollo continuo junto a una administración efectiva en todos los niveles de la empresa (Kumar et al., 2024).

El objetivo de Six Sigma es evidente: evitar errores y aumentar la calidad desde el principio para lograr importantes ahorros al reducir los gastos asociados con arreglos y desperdicios. Su capacidad para acercarse a la perfección mediante una tasa de defectos sumamente baja la convierte en una herramienta estratégica para las organizaciones que buscan una mayor competitividad (Kumar et al., 2024). No obstante, resulta complicado alcanzar el nivel de 6 sigma, se han propuesto otros niveles intermedios como 3 o 4 sigma, que difieren significativamente en términos de eficiencia. El nivel 3 sigma permite una tasa de 66807 defectos por millón, lo que equivale a una eficiencia del 93,32%, mientras que el nivel 4 sigma reduce esa cifra a 6210 defectos por millón, alcanzando una eficiencia del 99,38%.

Tabla 10

Proporción de errores por cada millón de unidades en los niveles sigma

Nivel de σ (sigma)	Partes por millón	Eficiencia
1	690.000,00	30,85 %
2	308.537,0	69,15 %
3	66.807,0	93,30 %
4	6.210,0	99,30 %
5	233,0	99,98 %
6	3,4	99,99 %

Nota: Adaptado de Carroll (2013).

La Tabla 10 muestra los diferentes niveles de sigma, desde 2 hasta 6, con su correspondiente proporción de errores y eficiencia. A pesar de que 5 sigma casi roza el 100% de eficiencia, el estándar de 6 sigma busca una perfección prácticamente total, con

una eficiencia del 99,9997%, lo que se traduce en un costo mínimo por defectos o desperdicios (H. Zala et al., 2024).

Six Sigma utiliza el ciclo DMAIC que consta de cinco etapas que son: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, en contraste con las metodologías convencionales de gestión que se basan en el PDCA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). DMAIC sirve para abordar problemas de mayor complejidad ya que el objetivo de este ciclo es realizar un análisis mucho más detallado que el ciclo PDCA y crear una gestión exhaustiva que genere grandes cantidades de datos. Esta configuración minuciosa permite que Six Sigma aborde situaciones con un enfoque más sólido y preciso (Rifqi et al., 2024).

En la Tabla 11 se presenta una comparación entre los dos enfoques mencionados; se nota que en PDCA la etapa de Planificación se simplifica en un solo paso; sin embargo, en DMAIC esta fase se divide en tres subetapas que son Definir, Medir y Analizar. Esto muestra un análisis más detallado en DMAIC ya que no solo se establece qué hacer sino también cómo llevarlo a cabo de manera eficiente. Aunque este proceso es más profundo, implica un mayor tiempo de ejecución, lo que lo diferencia claramente de los métodos tradicionales (Gisbert Soler et al., 2018).

Tabla 11

Comparación entre el ciclo PDCA y DMAIC

Ciclo PDCA	Ciclo DMAIC
	Definir
Planificar	Medir
	Analizar
Hacer	Mejorar
Verificar	
Actuar	Controlar

Nota: Adaptado de Gisbert Soler et al. (2018).

A continuación, en la Tabla 12 se detallan varias diferencias clave entre Six Sigma y los métodos tradicionales en términos de enfoque hacia la calidad. Mientras que Six Sigma opera de manera más flexible y descentralizada, empleando técnicas estructuradas para actuar preventivamente, su principal ventaja radica en la identificación y eliminación de las causas raíz de los defectos. En lugar de solo abordar los síntomas, Six Sigma

implementa un control riguroso sobre indicadores y variables clave, lo que le permite ofrecer resultados sostenibles a largo plazo (Anh et al., 2023).

Tabla 12

Comparación entre los enfoques tradicionales y Six Sigma en la gestión de la calidad

Calidad según enfoque tradicional	Calidad según enfoque Six sigma
Estructura rígida y centralizada Enfoque reactivo	Estructura flexible y descentralizada Enfoque proactivo
Herramientas de mejora y técnicas estadísticas sin estructuración	Herramientas de mejora y técnicas estadísticas estructuradas
Aplicación de herramientas y técnicas sin estructura de apoyo y capacitación	Capacitación y estructura de apoyo para la aplicación de herramientas y técnicas
Decisiones basadas en presentimientos	Decisiones basadas en datos precisos
Uso de remedios provisionales	Se busca la causa raíz para implementar soluciones definitivas
Inspección para la detección de defectos	Control de las variables clave

Nota: Adaptado de Anh et al. (2023).

1.3.4. Fases DMAIC

El proceso de Six Sigma para lograr una mejora continua en la calidad se basa en la herramienta DMAIC, la cual fue mencionada previamente. Según (Rahman et al., 2018), las cinco fases o etapas que componen este ciclo están conectadas entre sí de manera que el proceso pueda operar de forma suave y dinámica. Esto garantiza que las organizaciones puedan detectar y resolver sus problemas de manera eficiente y precisa. El ciclo DMAIC establece metas, evalúa el rendimiento, analiza las causas de los problemas y define los métodos para supervisar los resultados logrados. Con el progreso en cada fase se aumenta el nivel de sigma y se reduce al mínimo el margen de error. Las etapas que componen el ciclo son: Definir (Define), Medir (Measure), Analizar (Analyze), Mejorar (Improve) y Controlar (Control), tal como lo describen (Pérez-Domínguez et al., 2020), las cuales se exploran en detalle a continuación.

1.3.4.1. Definir

La primera etapa del ciclo DMAIC, Definir, tiene como propósito establecer los límites del proyecto y determinar los recursos necesarios, funciones organizacionales y expectativas del cliente. La fase inicial relevante del proyecto es la etapa de identificación del problema que se quiere abordar y el establecimiento de los objetivos y las metas planteadas que se quieren alcanzar, se debe delimitar al equipo de colaboradores implicados y a los clientes mediante una estructura que clarificara la dirección que debe tomar el proyecto con el fin de asegurar que las acciones a ejecutar estén claramente alineadas con las prioridades de la organización (Deniz & Tükenmez, 2024).

También hay que considerar que un punto clave en la fase de Definir es asegurarse de que los problemas identificados se encuentren alineados correctamente con los objetivos estratégicos planteados por la organización, además de contar con un respaldo por parte de la gerencia y los recursos disponibles con el fin de implementar con éxito las medidas necesarias para la mejora, garantizando así soluciones que sean factibles y viables (Pongboonchai-Empl et al., 2024).

Esta etapa también se centra en la satisfacción del cliente, por lo que es crucial comprender los procesos que implican aquí. Mediante el uso de herramientas como el diagrama de flujo que facilitan la identificación de puntos críticos, se busca mejorar la calidad y la eficiencia, con el objetivo de transformar las necesidades del cliente en características de calidad, priorizando así los esfuerzos en función de las demandas del mercado. Estas herramientas permiten que la organización priorice los esfuerzos en función de las demandas del mercado (Pérez-Domínguez et al., 2020).

Otra herramienta útil en esta etapa es el Análisis Modal de Fallos y Efectos, que permite identificar qué características del proceso deben controlarse para evitar errores. Además de eso, la utilización de análisis de comparación proporciona un punto de referencia para cotejar los procedimientos internos frente a aquellos empleados por las empresas más destacadas, identificando áreas en las que se pueden hacer mejoras. En última instancia, el gráfico de Pareto ayuda a enfocar los esfuerzos en los asuntos más relevantes, posibilitando una resolución más efectiva de los mismos (Wang et al., 2024).

En resumen, la fase de Definir en el ciclo DMAIC se enfoca en esclarecer los objetivos y propósitos, recursos y responsabilidades del proyecto. Se organiza la estructura necesaria

para cumplir con los objetivos, se identifican los elementos clave, y se fija una fecha estimada de finalización. Todo esto se hace asegurando que haya apoyo de la alta dirección, lo cual es esencial para que el proyecto avance de manera exitosa y alineada con los intereses de la organización.

1.3.4.2. Medir

La segunda etapa del ciclo DMAIC, Medir, se centra en seleccionar y revisar los componentes que serán evaluados para mejorar el proceso. En esta fase, se transforma lo definido anteriormente en datos cuantitativos que proporcionan información clara sobre el estado actual del proceso. Esto permite monitorear el rendimiento y comparar los resultados tras aplicar mejoras. Mediante la medición se identifican las causas raíz de los defectos y se evalúan las fallas críticas que afectan la calidad del producto o servicio, estableciendo así una base sólida para la mejora continua (Pérez-Domínguez et al., 2020).

La medición abarca la evaluación de fallas en los procesos internos que fueron previamente definidos como problemáticos. Estos defectos se ubican fuera de los márgenes de tolerancia establecidos por la organización, que en el caso de Six Sigma, son lo más reducidos posible. A través de la medición se busca reducir al mínimo estos errores, estableciendo estándares más altos de calidad. Diversas herramientas administrativas apoyan esta fase, tales como diagramas de flujo, histogramas y diagramas de tendencias, los cuales permiten representar visualmente los datos del proceso para detectar fácilmente las áreas problemáticas (Wang et al., 2024).

El empleo de herramientas adicionales como el análisis y la recopilación de datos estadísticos junto a técnicas como la lluvia de ideas y listados de verificación complementan el proceso de evaluación. El objetivo de estas técnicas es cuantificar el problema y establecer una línea base desde la cual se definirán los objetivos de mejora. Esta referencia permitirá realizar un seguimiento detallado del progreso y evidenciar los cambios aplicados en las fases posteriores del ciclo DMAIC para tener una clara visión del impacto de las mejoras implementadas (Rifqi et al., 2024).

Otro aspecto clave de esta etapa es la recolección de información precisa que permita entender los procesos, las expectativas de los clientes, y las especificaciones de los proveedores. El Análisis de Modo y Efecto de Falla (FMEA) es una herramienta fundamental en esta etapa, ya que permite identificar los puntos de riesgo en los procesos.

Todo esto facilita la creación de un mapa del proceso real, con el fin de prever posibles fallas y definir acciones correctivas. Evaluar el sistema de medición y garantizar la veracidad de los datos es vital para que los resultados sean confiables y efectivos (Pongboonchai-Empl et al., 2024).

De manera resumida, la etapa de Medir implica la identificación de métricas válidas y la verificación de datos suficientes para medir el rendimiento actual. Esta fase también incluye la documentación del desempeño del proceso, así como la realización de pruebas comparativas. El análisis obtenido servirá como punto de referencia para evaluar el progreso en las etapas futuras del ciclo DMAIC, asegurando que los objetivos de calidad y eficiencia sean alcanzados de manera efectiva.

1.3.4.3. Analizar

La etapa de Analizar se basa en los objetivos definidos en la fase anterior y en los datos recopilados, con el fin de identificar las causas raíz de los defectos presentes en el proceso. Esta fase busca responder al porqué de los problemas, priorizando aquellos aspectos que pueden resolverse y que contribuyen a mejorar los resultados, con el propósito de entender el por qué se producen los errores del proceso e identificar los elementos que provocan las fallas mediante métodos estadísticos (Mortada & Soulhi, 2023).

En esta etapa se emplean diversas herramientas que resultan ser útiles tales como: gráficos de barras y el análisis de Pareto, que sirven para identificar las principales causas que impactan en los problemas, con el fin de priorizar la solución de los mismos. Además, tenemos el análisis de la causa-efecto que enlaza los resultados del proceso con sus causas principales y los gráficos de dispersión con el fin de correlacionar variables para determinar su relación y diferenciar entre las variaciones aleatorias y las que son producidas por factores asignables (Yu et al., 2022).

Las herramientas a elegir van a depender del tipo de problemas que se desea abordar y de los datos que se dispongan. Si no tenemos claro el problema por no haber sido definido o por no haber sido medido correctamente en las etapas anteriores, entonces este análisis no se podrá llevar a cabo de manera efectiva, por lo que se debe incluir esta identificación de las causas principales con el fin de realizar estimaciones sobre los recursos que son necesarios para lograr los objetivos planteados (Deniz & Tükenmez, 2024).

Es crucial definir la capacidad del proceso, es decir, su “sigma”, y medir hasta qué punto el proceso cumple con los requisitos del cliente. La capacidad del proceso será un punto clave en la mejora, ya que permitirá determinar el grado de variabilidad y los cambios necesarios para alcanzar los objetivos de calidad y eficiencia propuestos (Wang et al., 2024).

1.3.4.4. Mejorar (improve)

La etapa de Mejorar se centra en la experimentación de alternativas que permitan reducir la cantidad de problemas y defectos en el proceso, evaluadas mediante métodos estadísticos. Durante esta etapa se fundamenta la evaluación de los datos para poder elegir y crear las soluciones que resulten eficientes y permitan no solo abordar sino reducir las principales causas de los problemas que han sido detectados, con el objetivo de identificar las áreas que se pueden optimizar y evaluar el impacto de las mejoras (Pongboonchai-Empl et al., 2024).

Es determinante presentar opciones que sean eficientes y puedan abordar adecuadamente las causas a profundidad y de manera definitivamente para evitar caer en soluciones temporales o simplemente ocultar el problema. En esta etapa se llevan a cabo modificaciones en el proceso para corregir fallos y facilitando así una distribución más efectiva de las responsabilidades y la creación de soluciones que sean validadas previamente antes de su implementación completa (Yu et al., 2022).

El propósito que tiene esta etapa es reunir la información requerida para diseñar un plan de acción que mejore el desempeño de la empresa, optimice aspectos económicos y solucione inconvenientes vinculados a los clientes. Las soluciones para el plan de acción deben ser presentadas y ejecutadas adecuadamente. Se recomienda realizar pruebas piloto que validen la efectividad de las mejoras propuestas, lo que asegura que se pueden hacer ajustes necesarios antes de la aplicación a gran escala. Este enfoque permite que las correcciones sean precisas y efectivas, alineándose con los objetivos organizacionales establecidos (Pérez-Domínguez et al., 2020).

1.3.4.5. Controlar

Controlar es una etapa que se encamina a garantizar la continuidad de las mejoras que ya fueron implementadas en las fases anteriores a lo largo del tiempo, mediante un monitoreo constante del rendimiento del proceso y la documentación formal de las mejoras y

también implementando normativas y procedimientos estandarizados, esta etapa tiene como fin desarrollar la mejora continua y asegurarse de que los resultados se mantengan alineados a lo establecido en la fase de Analizar (Mortada & Soulhi, 2023).

Las herramientas más comunes utilizadas durante esta etapa son los gráficos de control y el análisis de la capacidad para calcular el nivel sigma conseguido. Durante esta etapa también se utilizan métodos de control basados en estadística y también se pueden implementar técnicas Lean como el Poka Yoke que sirven para identificar errores de procesos y subsanarlos, con el fin de asegurar que el progreso sea constante (Deniz & Tükenmez, 2024).

El monitoreo constante del proceso optimizado permite realizar una documentación del plan y un seguimiento constante. Adicionalmente nos permite validar los procedimientos que han sido mejorados mediante la verificación de los cambios implementados con el objetivo de determinar que el proceso sea perdurable en el tiempo y reducir las posibles desviaciones en función de los objetivos planteados por la organización. Para ello, se implementan sistemas de control, como el control estadístico de procesos, que permiten evaluar continuamente si el proceso se encuentra bajo control o requiere ajustes (Anh et al., 2023).

1.3.5. Aplicación de DMAIC Six Sigma

El ciclo DMAIC es fundamental en el marco de Six Sigma, ya que se basa en la recopilación y análisis de datos para mejorar la tasa de defectos. Sin embargo, como indican Rahman et al. (2018), también puede implementarse como una práctica de calidad independiente o dentro de iniciativas Lean. A pesar de su flexibilidad, las etapas de DMAIC mantienen la misma aplicación, como se detalla en la Tabla 13.

Tabla 13*Preguntas clave para cada etapa de DMAIC*

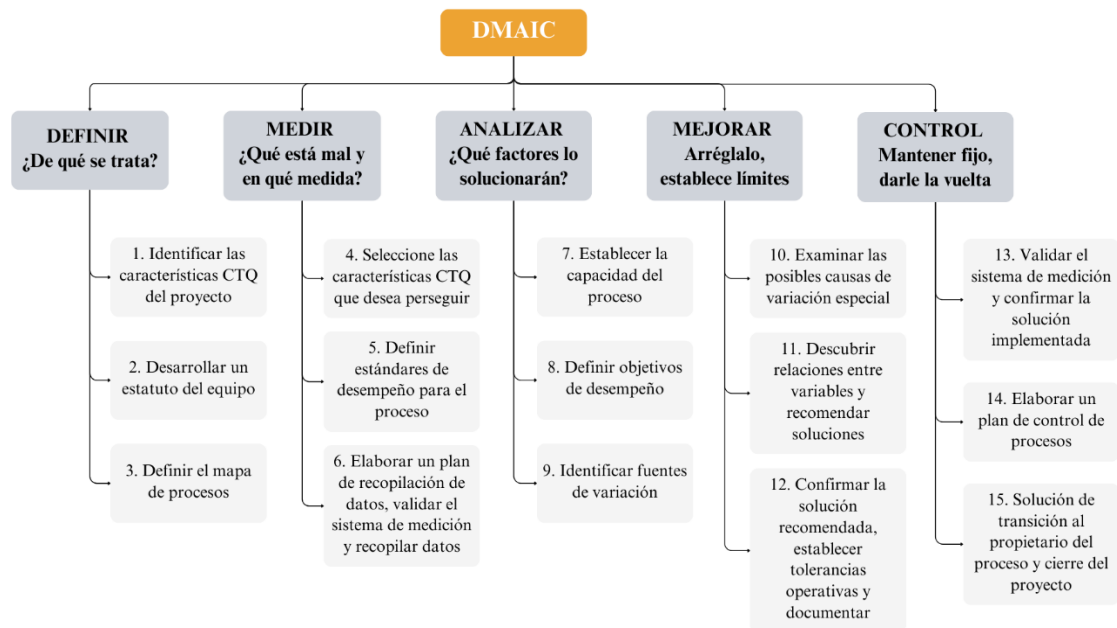
Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Controlar
¿Cuál es el problema?	¿Qué datos están disponibles?	¿Cuáles son las causas raíz del problema?	¿Tenemos las soluciones correctas?	¿Qué recomendamos?
¿Cuál es el alcance?	¿Los datos son precisos?	¿Las causas raíz fueron verificadas?	¿Cómo verificamos que las soluciones funcionen?	¿Existe apoyo para las sugerencias?
¿Qué indicador es importante?	¿Cómo se podrían estratificar los datos?	¿Dónde deberían concentrarse nuestros esfuerzos?	¿Las soluciones han sido piloteadas?	¿Cuál es nuestro plan de implementación?
¿Qué indicador es importante?	¿Cómo se podrían estratificar los datos?	¿Dónde deberían concentrarse nuestros esfuerzos?	¿Las soluciones han sido piloteadas?	¿Cuál es nuestro plan de implementación?

Nota: Adaptado de Anh et al. (2023).

En la Figura 9 se muestra los 15 pasos para aplicar el ciclo DMAIC, estos pasos se encuentran organizados en las cinco etapas principales según Carroll (2013). Este esquema presenta de manera clara y estructurada como están interconectadas cada una de las etapas con el fin de orientar la mejora continua de los procesos. Además, mediante esta representación visual se puede comprender fácilmente el enfoque sistemático con el que trabaja Six Sigma y su aplicación eficiente para la optimización y el aumento del rendimiento en diversos planos empresariales.

Figura 9

Pasos para la aplicación DMAIC



Nota: Adaptado de Carroll (2013).

La falta de claridad en torno al uso de las métricas de Seis Sigma es algo común, el nivel sigma empleado como medida no siempre muestra una relación directa y lineal respecto la calidad del resultado final. Según Rahman et al. (2018) un aumento porcentual en los defectos por millón de oportunidades (DPMO), no necesariamente se traduce en un incremento proporcional en el nivel de calidad sigma. Las medidas del desempeño del proceso como los Defectos por Unidad (DPU), y los Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO) y las Unidades de Defectos de partes por Millón (PPM) son fundamentales para distinguir entre un defecto y un artículo defectivo. Un defecto implica cualquier discrepancia en un artículo, en cambio se considerará que un artículo es defecto si no cumple los estándares de aceptación establecidos debido a una sola característica o a la acumulación de múltiples fallos.

Un fallo se describe como cualquier problema o imperfección que pueda encontrarse en un producto, de hecho, un solo artículo puede incluir varios fallos distintos. Por ejemplo, en un proyecto de construcción pueden aparecer diversos inconvenientes tales como errores en los planos, especificaciones erróneas de materiales o imperfecciones en la realización de las obras. Esto implica que un solo proyecto puede acumular múltiples

defectos. Así, al revisar una muestra de 10 proyectos de construcción, es factible encontrar más de 10 defectos en total.

Un artículo se considera defectuoso cuando se determina que no cumple con los estándares requeridos, ya sea por un defecto particular o por la suma de múltiples errores. Así, al examinar una muestra de 10 artículos, se podría llegar a tener hasta 10 unidades que se clasifiquen como defectuosas (H. Zala et al., 2024).

Las métricas que se utilizan para medir estos defectos se calculan con las siguientes fórmulas:

$$DPU = \frac{d}{UL} * 100 \quad (1)$$

Esta fórmula indica la tasa de defectos por unidad, donde d es el número total de defectos y UL representa el número de unidades en un lote.

$$DPMO = \frac{d}{U * O} * 1'.000.000 \quad (2)$$

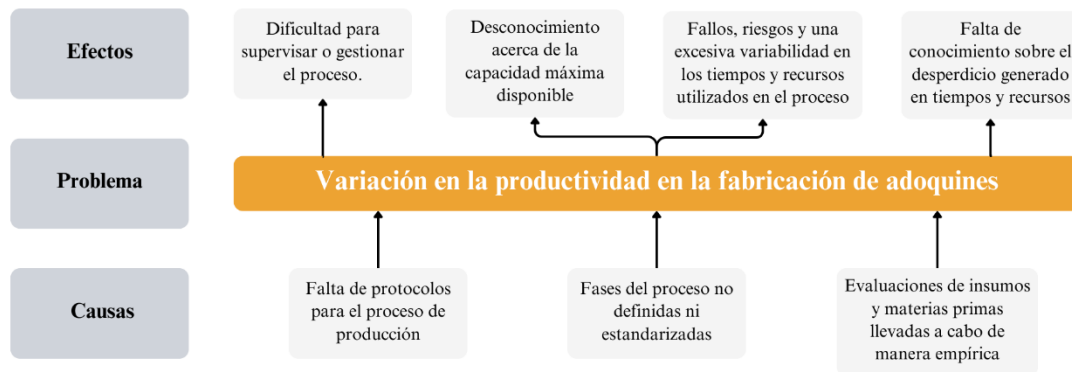
Esta ecuación muestra la cantidad de defectos por cada millón de oportunidades, donde d representa el número de defectos, U es la cantidad de unidades analizadas y O es el número de oportunidades de mejora disponibles.

1.3.6. Árbol del problema

En la Figura 10 se puede evidenciar la base de la presente investigación mediante un esquema de problemas donde se puede ver las razones y consecuencias que se vinculan a la variación en la eficiencia presente en la fabricación de los adoquines. Como lo enuncian Córdor Chano & Coque Paucarima (2021b), una causa principal es la falta de un proceso definido y estandarizado, lo que dificulta sacar provecho a la elaboración de los diagramas de flujo para cada fase de la producción. Esta carencia limita el control y monitoreo del proceso, dificultando la identificación de la capacidad máxima instalada y, por ende, del margen de mejora en la productividad.

Figura 10

Árbol de problemas



Otra causa significativa es la ausencia de protocolos en el proceso productivo, lo que lleva al personal a desconocer los parámetros necesarios para un desarrollo eficiente y seguro del proceso. Esta situación genera costos por errores y variaciones excesivas en el uso de recursos. Finalmente, el manejo de materias primas se basa en estimaciones y medidas no estandarizadas, como carretillas o sacos, lo que resulta en un desconocimiento de las cantidades utilizadas y el desperdicio generado, así como los costos asociados (Cóndor Chano & Coque Paucarima, 2021b).

1.3.7. Beneficios de Six Sigma

El método Six Sigma brinda muchos beneficios, entre los que están: el aumento de la participación del personal; el crecimiento de los beneficios empresariales; el aumento de la satisfacción del cliente, mediante la optimización de los procesos de producción y la naturaleza integradora propia de Six sigma (Felizzola Jiménez et al., 2023). Tomando en cuenta esta perspectiva, el personal se convierte en el factor clave capaz de reflexionar y ajustarse a las situaciones en evolución. Al incorporar a los empleados en la estrategia se fomenta su satisfacción y reconocimiento por las labores bien realizadas lo que resultará en una mayor motivación y compromiso hacia los objetivos de la empresa.

Durante la aplicación de Six Sigma se produce un aumento en las ganancias debido a la disminución de errores y defectos que resultan en menor costos operativos y menos gastos asociados al desperdicio de productos. La mejora proporcionada por Six Sigma no solo aumenta la rentabilidad, sino que genera una mayor eficacia en toda la organización mediante el uso efectivo de los recursos con los que cuenta la empresa, obteniendo como

resultado un incremento tanto en producción como un incremento indirecto de la fidelidad del cliente al ofrecer productos de mejor calidad a precios competitivos. En resumen, estos beneficios convierten al Seis Sigma en una herramienta potente no solo para mejorar la calidad, sino también para impulsar el desarrollo completo de la organización.

1.3.8. Gestión por procesos

La gestión por procesos se concentra en comprender y mejorar las actividades fundamentales dentro de una empresa para potenciar su rendimiento global (Delgado Seclén & Calsina Miramira, 2020). Esta metodología se implementa al identificar procesos conectados entre sí y representarlos gráficamente como una manera de comprender de manera más profunda la dinámica de las actividades y los recursos en la organización.

Para aplicar adecuadamente la gestión por procesos es fundamental analizar detalladamente las actividades relacionadas a los procesos identificados mediante una secuencia de pasos con el fin de valorar su efectividad. Al tener esta información se deben rediseñar los procesos con el objetivo de eliminar las ineficiencias e implementar nuevos procesos o mejorar los ya existentes (Cieza Mostacero et al., 2019).

En la gestión por procesos podemos monitorear y controlar los resultados mediante indicadores de desempeño o KPI's, que permiten medir aspectos importantes y de gran relevancia como el tiempo de respuesta nivel de satisfacción del cliente, etc. Al definir y controlar estos indicadores, se garantiza que los procesos operen bajo parámetros establecidos y se detecten desviaciones de manera temprana. Este seguimiento sistemático permite la toma de decisiones basadas en datos concretos y asegura que la organización mantenga el rumbo hacia la consecución de sus objetivos estratégicos, además de fortalecer su capacidad para generar valor sostenidamente (Llaque Fernández et al., 2021).

1.3.9. Fundamentación legal

El entorno jurídico en Ecuador relaciona la calidad y la gestión por procesos mediante mecanismos con el fin de tener productos de la mejora calidad posible. A continuación, se presentan los mecanismos:

- La ley del sistema ecuatoriano de la Calidad cuenta con un reglamento que define los principios que son fundamentales y las instituciones que tienen la

responsabilidad de supervisar y regular la calidad a nivel nacional, también se abordan aspectos relacionados tanto a los derechos que tienen los ciudadanos como a promover una cultura con ámbito de calidad y excelencia. Asimismo, se contempla la emisión de certificaciones que avalan el cumplimiento de las normativas técnicas correspondientes. En lo que respecta al ámbito de la construcción se hace referencia a la normativa técnica que “...abarca la creación y aplicación de reglamentos técnicos necesarios para salvaguardar los objetivos vinculados a la seguridad y salud de las personas y el entorno natural. También se busca proteger al consumidor de prácticas fraudulentas” (Ministerio de Industrias y Productividad, 2007).

- Plan Nacional de Calidad. Diseñado en el año 2022, tiene por objetivo “Proporcionar lineamientos, guías, y directrices para fortalecer y generar una Infraestructura de Calidad que permita proporcionar productos y servicios de calidad impulsando la optimización de procesos; adaptación de mejores prácticas productivas; cumplimiento de normas y regulaciones técnicas; y, el uso responsable de los recursos naturales” (Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, 2022). En este plan se menciona al sector de la construcción como uno de aquellos que requieren ser vigilados y controlados en temas de calidad. De manera más específica se pueden mencionar las siguientes Normas Técnicas.
- Norma NTE INEN 3040 sobre Adoquines de Hormigón, requisitos y métodos de ensayo.
- Norma NTE INEN 1487 sobre Adoquines, determinación de la porción soluble en ácido del árido fino.
- GPE INEN 44, Guía práctica de adoquines de hormigón para tránsito pesado.
- GPE INEN 45, Guía práctica de adoquines de hormigón para tránsito ligero.

CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de investigación

El enfoque mixto integra métodos cuantitativos y cualitativos, lo que nos ofrece una perspectiva completa al momento de enfrentar desafíos de complejidad en las organizaciones. Dentro de investigaciones en distintos campos relacionados a la gestión empresarial se ha demostrado la notable eficiencia en los entornos corporativos mediante la comprensión de los elementos que intervienen en las interacciones internas como externas obteniendo así una incidencia en los resultados obtenidos (Creswell, 2018).

Tomando en cuenta el argumento planteado en el párrafo anterior, el uso de enfoques mixtos es recomendado en investigaciones de gestión y productividad, porque facilita la triangulación de datos y permite abordar un problema desde diferentes perspectivas, logrando un análisis profundo y detallado (Hernández Sampieri et al., 2014).

En esta investigación, el enfoque mixto es particularmente adecuado porque permite explorar y analizar de manera objetiva los procesos productivos de adoquines en la empresa GUEFERZA, mientras que también proporciona un análisis contextual y estratégico de su entorno externo. La parte cuantitativa se concentrará en la evaluación objetiva de datos de producción a través de la recolección y análisis de información numérica sobre aspectos como la cantidad de fallos detectados, el rendimiento por grupo y la capacidad del procedimiento. Estas medidas facilitan la valoración actual del desempeño y sugieren mejoras específicas para aumentar la eficiencia.

Por otro lado, en el aspecto cualitativo se lleva a cabo un análisis documental que investigará el entorno externo de la empresa utilizando herramientas como las 5 fuerzas de Porter y el análisis FODA. Esto permitirá situar en contexto la situación actual del mercado y sus implicaciones para la gestión productiva de la empresa GUEFERZA; identificando tanto amenazas como oportunidades en el ámbito empresarial ecuatoriano. Este enfoque combinado facilita un análisis exhaustivo y estratégico, fusionando datos internos con factores externos relevantes que podrían influir en el desempeño y competitividad de la empresa.

2.2. Diseño de investigación

La presente investigación tiene un diseño no experimental y de corte transversal, ya que no manipula variables tal como lo mencionan Hernández Sampieri et al. (2014), sino que se observan en su entorno natural. Para recopilar los datos, se llevó a cabo en una sola jornada sin evaluar los cambios temporales tal como lo recomienda Creswell (2003).

También se realizó un análisis detallado que cubre el panorama competitivo y la situación actual del mercado en el ámbito ecuatoriano. Esto es muy importante ya que este análisis ofrece una base muy sólida con el objetivo de comprender las influencias externas que puedan impactar tanto de manera positiva como de manera negativa a la empresa dedicada al adoquinado en la ciudad de Quito (Yin, 2018b).

La elección de un diseño no experimental se justifica basándose en el objetivo principal, donde planteamos describir y analizar los procesos productivos internos de la empresa y el contexto externo con el fin de proponer un modelo de gestión colaborativo con Lean Construction, permitiendo así, comprender los procesos que se llevan a cabo en el desarrollo de un proyecto.

2.3. Procedimiento metodológico

2.3.1. Procedimiento metodológico para recolección de datos

El procedimiento metodológico para la recolección de datos de la presente investigación se desarrolló tomando como base distintos enfoques teóricos y metodológicos propuestos por varios autores y artículos revisados durante el análisis bibliométrico presente en la Figura 8. La estructura metodológica sigue las recomendaciones de (Hernández Sampieri et al., 2014), quienes sugieren un diseño no experimental para estudios que no buscan manipular las variables, sino observarlas en su contexto natural. Además, se aplicaron elementos del enfoque analítico-sintético descrito por Rodríguez Jiménez & Pérez Jacinto (2017), el cual permite segmentar el proceso de producción para un análisis detallado y posteriormente sintetizar los resultados. Se integraron también conceptos de recolección de datos y análisis de estudios de caso descritos por Yin (2018), proporcionando un marco coherente para la combinación de técnicas cuantitativas y cualitativas.

Para cubrir el aspecto cuantitativo se empleó una lista de cotejo que permitió registrar los tiempos y los defectos en las diferentes etapas del proceso de producción. En términos cualitativos se realizó un análisis documental para poder desarrollar las

conceptualizaciones de la metodología más afín a la investigación y una entrevista semiestructurada a la persona encargada de supervisar el proceso de producción, con el objetivo de comprender el proceso completo. Además de lo anterior mencionado, tenemos también la incorporación de la observación directa que nos permitió capturar los comportamientos y las dinámicas en tiempo real. En síntesis, la combinación de todos estos métodos nos da una visión completa para un levantamiento adecuado de la información e identificación adecuada de las áreas de mejora.

Figura 11

Procedimiento metodológico para recolección de datos



- En la primera etapa de análisis documental se utilizó bibliometría para identificar las metodologías de recolección de datos y la aplicación de Lean Six Sigma en el ámbito de los prefabricados de hormigón. De un total de 65 artículos revisados se optó por emplear herramientas como listas de verificación y medidas temporales para recabar datos cuantitativos; mientras que para los datos cualitativos se realizaron entrevistas y observación directa. Asimismo, se corroboró la integración exitosa entre Lean Six Sigma y Lean Construction resaltando el uso del ciclo DMAIC para optimizar procesos y elevar la calidad.
- En la Etapa 2 se llevó a cabo una entrevista semiestructurada al trabajador a cargo del proceso de fabricación de adoquines en la compañía para recopilar información detallada sobre los procedimientos productivos como los tiempos necesarios para producirlos y las cantidades exactas de materiales utilizados junto

a otros aspectos operativos importantes. Durante esta entrevista se priorizaron los aspectos técnicos relacionados únicamente a la producción sin profundizar en opiniones sobre la implementación del Lean Six Sigma o el contexto externo. Los datos recopilados ofrecieron una sólida base para analizar las operaciones actuales y serán útiles como punto de partida para sugerir mejoras en los procesos de producción de la compañía.

- En la Etapa 3 del proceso de evaluación y observación directiva de la producción se utilizó para medir aspectos específicos como cantidad de defectos en el producto final y unidades efectivas producidas en un determinado tiempo de producción. Manteniendo una estructura basada en criterios medibles que permitieron obtener datos objetivos y comparativos entre ellos. Por otro lado la observación directiva facilitó el análisis descriptivo sobre los factores que impactan en la producción como pueden ser el rendimiento del personal las interrupciones en el flujo de trabajo o posibles pérdidas o desperfectos que puedan surgir durante el proceso productivo. Esta técnica resultó clave para poder interpretar correctamente los datos obtenidos mediante la lista de cotejo y darles un contexto real dentro del entorno productivo.
- Finalmente, durante esta última etapa del proceso se combinarán los datos obtenidos tanto numéricos como cualitativos obtenidos, para elaborar el modelo de gestión colaborativa con Lean Construction con el fin de crear un método estructurado que mejore la eficiencia en los procesos de producción y promueva una colaboración entre los distintos departamentos de una empresa.

2.3.2. Procedimiento metodológico para la aplicación de Lean Six Sigma

La estrategia Lean elegida es Lean Six Sigma según se representa en la Figura 8. Este enfoque abarca las filosofías de Lean y Six Sigma para optimizar la eficiencia de los procesos y disminuir la variabilidad en ellos (Deniz & Tükenmez, 2024). Lean se concentra en minimizar el desperdicio y mejorar la eficiencia del proceso. Por otro lado, Six Sigma busca disminuir la variabilidad y elevar la calidad a través de un enfoque riguroso basado en datos (Pongboonchai-Empl et al., 2024). En esta investigación se implementó el método Lean Six Sigma empleando herramientas como diagrama de Pareto y proceso DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) para detectar

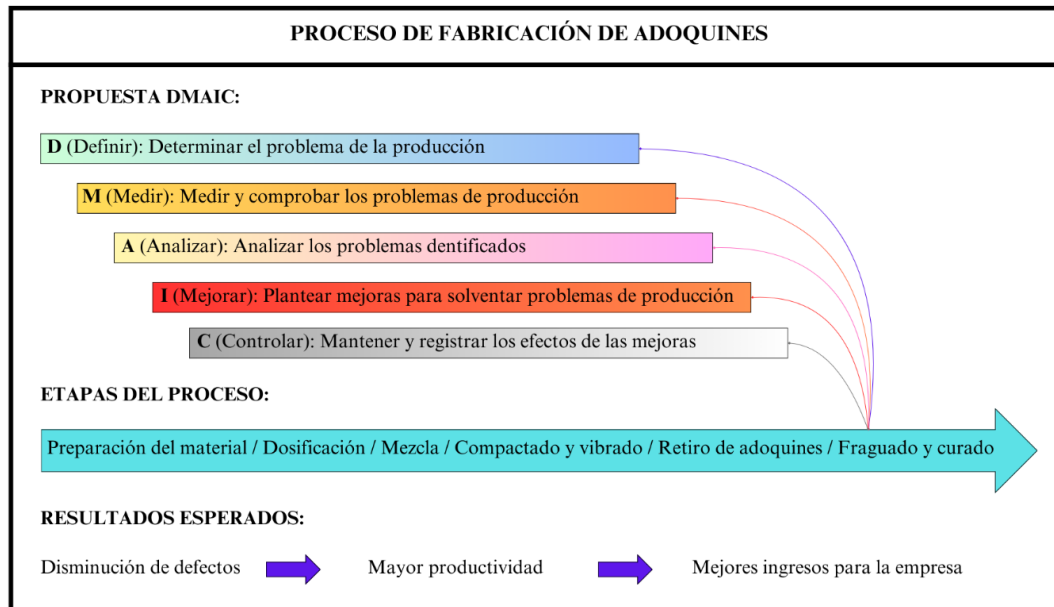
ineficiencias, reducir los defectos y la optimización de tiempos con la finalidad de aumentar la eficiencia a operativa y establecer un ciclo constante de mejora a largo plazo.

En el marco de este estudio particularmente centrado en Lean Construction se emplea Lean Six Sigma para optimizar los procedimientos de producción al combinar la eliminación de desperdicios propia del enfoque Lean y las herramientas estadísticas de Six Sigma; lo cual resulta en una mejora en la eficiencia operativa y una reducción en la variabilidad durante las distintas etapas de producción (Albalkhy & Sweis, 2021b). A través del ciclo DMAIC (Definir-Meditar-Analizar-Mejorar-Controlar), se detectan puntos débiles en el proceso y se llevan a cabo acciones para disminuir defectos y elevar la calidad del producto final. Por ejemplo, en la etapa de Mezclado, donde se presenta variabilidad en la consistencia de los adoquines, se aplican herramientas de Six Sigma para analizar las causas raíz y establecer medidas correctivas. Al mismo tiempo, los principios de Lean Construction contribuyen a optimizar los recursos y reducir tiempos de inactividad, promoviendo una mejora continua que beneficiará tanto a la empresa como a sus clientes.

Tomando como base los aportes de Córdor Chano & Coque Paucarima (2021b), la aplicación de Lean Six Sigma en empresas de prefabricados de hormigón sigue la metodología DMAIC, que estructura la mejora continua en cinco fases tal como se muestra en la Figura 12. En primer lugar, se encuentran los problemas de producción recolectando datos en la etapa de Definir (D). Luego se verifican y cuantifican estos problemas en Medir (M). En Analizar (A), se identifican las causas fundamentales de las deficiencias detectadas. Después se implementan soluciones para optimizar el proceso en Mejorar (I). Por último, en Controlar (C), se establecen mecanismos para asegurar que las mejoras sean mantenidas y su durabilidad garantizada en el tiempo.

Figura 12

Procedimiento metodológico para la aplicación de Lean Six Sigma



2.4. Población y muestra

2.4.1. Población

La población en investigación se define como el conjunto total de elementos que comparten una característica en común y sobre los cuales se pretende obtener información (Hernández Sampieri et al., 2014). En estudios industriales, la población puede estar compuesta por productos, procesos o sujetos involucrados en la producción (Montgomery, 2020). La población diana es un subconjunto específico que se encuentra dentro de la población total, esta población satisface los criterios del estudio y está alineado con los objetivos de una investigación (Babbie, 2013). Por lo tanto, en el contexto de esta investigación, se consideran a los adoquines como el grupo objetivo de esta empresa, ya que representan el producto al cual queremos aplicar Lean Six Sigma con la finalidad de incrementar la eficiencia centrándonos únicamente en el proceso de fabricación de los adoquines.

La fabricación de adoquines en la empresa se realiza siguiendo un proceso en serie en el que cada día de trabajo resultará en la producción de 24 conjuntos homogéneos de adoquines compuestos por 60 unidades cada uno para garantizar la consistencia en la producción diaria. Sin embargo, en la compañía bajo investigación no se aplica un método formal de muestreo estadístico para el control de calidad lo que significa que la evaluación

de los productos se lleva a cabo de forma empírica basándose en la inspección visual y la experiencia del personal.

2.4.2. Muestra

La muestra es un subconjunto representativo de una población, seleccionado con el propósito de analizar características específicas y extrapolar resultados al conjunto total (Hernández Sampieri et al., 2014). En control de calidad, la muestra permite evaluar defectos y variaciones sin necesidad de inspeccionar la totalidad de la producción (Montgomery, 2020).

Actualmente, la empresa no cuenta con un criterio técnico documentado para la recolección de datos en el control de calidad de los adoquines. El procedimiento se lleva a cabo de forma empírica, en el cual los trabajadores revisan visualmente algunos lotes de producción sin seguir un método de muestreo o evaluación estandarizado establecido previamente. Estas acciones pueden ocasionar discrepancias en la identificación de fallos y una variabilidad en la calidad del producto terminado.

La fabricación en serie se caracteriza por la creación en cantidad de productos estandarizados mediante procesos repetitivos y sistemáticos (González Martínez, 2003). Desde un punto de vista técnico, dentro de la producción en serie la recopilación de datos debe seguir un plan de muestreo basado en atributos, tal como se indica en la normativa **ISO 2859-1**; esto facilitará determinar si una muestra es aceptable o no. Este método de muestreo se apoya en criterios estadísticos que aseguran un control más riguroso y eficaz del nivel de calidad.

La elección de la cantidad de lotes de adoquines para la evaluación de calidad se llevó a cabo siguiendo las pautas establecidas en la normativa **ISO 2859-1** (Organización Internacional de Normalización, 1999), que establece los planes de muestreo para la inspección por atributos en lotes de producción. Según esta normativa, para lotes que varíen entre 51 y 90 unidades, se requiere un mínimo de muestra de 5 lotes. Sin embargo y luego de consideraciones técnicas y recomendaciones del personal especializado de la compañía se decidió elegir 6 lotes para la revisión para asegurar que cumplan los requisitos mínimos exigidos por la normativa y garantizar la representatividad del muestreo en el proceso de producción en serie.

El método de muestreo aleatorio simple consiste en seleccionar cada elemento de la población de manera equitativa y asegurando que cada uno tenga la misma probabilidad de ser elegido. De esta manera se garantiza que la muestra obtenida sea representativa del conjunto total (Montgomery, 2020). En este estudio, la selección de los lotes a evaluar se realizó mediante este tipo de muestreo, asegurando que cada lote tuviera la misma posibilidad de ser escogido. Este enfoque permite minimizar sesgos en la recolección de datos y obtener resultados que reflejen con mayor precisión el comportamiento del proceso de producción.

La falta de un criterio técnico estructurado en la empresa puede afectar la confiabilidad del control de calidad. Implementar un sistema basado en normas internacionales permitiría una mayor trazabilidad y objetividad en la evaluación de los adoquines, asegurando que el producto cumpla con los estándares establecidos y reduciendo el riesgo de defectos en la producción.

2.5. Métodos, técnicas e instrumentos para recolección de datos

2.5.1. Método

2.5.1.1 Método cuantitativo

El método cuantitativo se refiere a la **investigación que utiliza datos numéricos y herramientas estadísticas** para medir fenómenos y establecer relaciones entre variables (Creswell, 2003). Este método se centra en recopilar datos que se puedan medir y analizar de manera objetiva. Según Hernández Sampieri et al. (2014), Este método se centra en recopilar datos que se puedan medir y analizar de manera objetiva.

En el marco de este estudio de investigación se empleó el enfoque cuantitativo para analizar la elaboración de adoquines a través de mediciones precisas de diversas variables como las dimensiones de los adoquines y la resistencia de los materiales junto a la identificación de posibles defectos presentes en los mismos. Para lograrlo se optó por el **muestreo aleatorio simple** a fin de seleccionar los lotes sujetos a evaluación garantizando que cada uno tuviera una probabilidad equitativa de ser elegido y asegurar la representatividad en los resultados obtenidos (Montgomery, 2020). Además de eso comparando información cuantitativa y objetiva sobre el proceso de producción mediante herramientas de recolección de datos como listas de cotejo y registros de observación fue

posible para obtener la información adecuada hacer un análisis estructurado basado en datos numéricos garantizando así la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

2.5.1.2. Método cualitativo

El enfoque cualitativo se centra en comprender los fenómenos desde una perspectiva más subjetiva y detallada al estudiar comportamientos humanos y percepciones (Creswell, 2003). De acuerdo a (Flick, 2007), el método cualitativo se distingue por la recolección de datos no numéricos y un análisis interpretativo que permite capturar la complejidad de los fenómenos desde la experiencia y la interpretación de los participantes. En esta investigación, se utiliza un enfoque cualitativo para comprender los procesos internos en la producción de adoquines y la elaboración del producto. A través de la entrevista semiestructurada y observación directa, se recabaron detalles sobre los procesos de producción y cumplimiento de la calidad del producto. Estas técnicas permiten obtener una visión más profunda de la operación que no se puede captar únicamente con datos numéricos.

2.5.2. Técnicas

La técnica de investigación es el conjunto de procedimientos y herramientas utilizadas para recolectar información de fuentes pertinentes, en concordancia con el objeto de estudio, con el propósito de obtener datos significativos para la investigación. La opción que elija se basará en las variables preestablecidas y estará conectada al método científico para facilitar la obtención de información clave que es necesaria para aplicar el enfoque metodológico (Del Cid et al., 2011). Por otro lado, (Baena Paz, 2017) describe esta técnica como una serie de pasos que contribuyen al método en el logro de sus objetivos y las clasifica en técnicas de investigación documental y de campo. Además, destaca que estas estrategias desempeñan un papel operativo estrechamente relacionado con el enfoque y reflejan la transición del pensamiento abstracto a la implementación práctica.

2.5.2.1. Técnicas Cuantitativas

- **Observación estructurada de registro de tiempos**

Como lo enuncia Jimenez (2020), el registro de tiempos forma parte de la observación estructurada y es una técnica muy utilizada y está enfocada en medir el tiempo en que tarda un ciclo de producción en completarse, identificando el tiempo que se invierte en

cada fase del proceso de producción. Este enfoque nos ayudó a recopilar información detallada que resultó fundamental para detectar posibles obstáculos y oportunidades de mejora en el proceso de producción.

2.5.2.2. Técnicas Cualitativas

- **Análisis Documental**

El análisis de documentos como técnica, nos permite revisar e interpretar documentos escritos como reportes anteriores y estudios relevantes para la investigación (Álvarez & Jurgenson, 2012). En este estudio se utilizó el análisis de documentos junto a una revisión bibliométrica para identificar las mejores técnicas de recolección de datos y el enfoque Lean más adecuado para el modelo de gestión colaborativa.

La revisión de literatura permitió la recopilación de las fuentes más relevantes mediante la utilización de un análisis bibliométrico. El desarrollo de la investigación bibliométrica se realizó desde el principio de la investigación para servir como un punto de partida estableciendo así una base conceptual muy bien fundamentada que ayude a la toma de decisiones respaldadas por evidencia científica.

- **Entrevista Semiestructurada**

La entrevista semiestructurada como técnico, sirve para recopilar la información a través de preguntas que ya estaban predefinidas, pero con la espontaneidad del entrevistado en expresar de manera abierta sus ideas complementando así la información pertinente (Álvarez & Jurgenson, 2012). La entrevista en esta investigación utilizó un enfoque puntual con el objetivo de obtener datos concretos sobre el proceso de producción, cantidad de materiales que se requieren para hacer los adoquines y el cumplimiento de los criterios técnicos utilizados para la fabricación.

La entrevista fue aplicada exclusivamente al operario encargado de la producción, dado su conocimiento directo y su experiencia en la gestión operativa de la planta. Su testimonio permitió complementar la información recolectada mediante otras técnicas y contribuir a la formulación del modelo de gestión colaborativo.

- **Observación Directa**

La observación directa como técnica cualitativa implica recolectar información al observar el fenómeno en su entorno natural sin intervenir en el proceso observado (Yin,

2018b). En este caso específico se empleó para asegurar que los adoquines producidos cumplieran las especificaciones técnicas en términos de forma tamaño y resistencia mediante la observación directamente del proceso de fabricación. Además, se pudo verificar la información dada por el trabajador responsable de la producción durante la entrevista semiestructurada lo que ayudó a tener una comprensión más detallada y neutral del proceso de producción. La observación directa facilitó la identificación de posibles defectos en los productos y permitió asegurar que se ajustaran a los parámetros establecidos para garantizar la calidad.

2.5.3. Instrumentos

2.5.3.1. Lista de cotejo

La Lista de Cotejo es un instrumento estructurado que permite registrar la presencia o ausencia de características específicas en un proceso o producto. Según (Hernández Sampieri et al., 2014), este instrumento facilita la verificación objetiva de criterios previamente establecidos, lo que lo convierte en una herramienta clave en estudios de control de calidad y aseguramiento de procesos productivos. Por lo tanto se podría decir que su aplicación se utiliza frecuentemente en ambientes industriales para evaluar el cumplimiento de normas técnicas y de funcionamiento.

En este estudio se utilizó una Lista de cotejo para asegurarse de que los adoquines cumplieran las especificaciones técnicas requeridas en cuanto a sus formas, tamaño, resistencia y acabado. Los criterios incluidos en la lista eran observables durante la inspección de cada lote fabricado, incluyendo la uniformidad dimensional, la detección de defectos visibles y la calidad del fraguado, llevando a cabo una evaluación en cada fase del proceso de producción y permitiendo así detectar posibles desviaciones para finalmente crear las oportunidades para mejoras.

La fiabilidad de la lista de cotejo como instrumento de recolección de datos, se basó en un diseño que toma los estándares industriales y de rendimientos establecidos en la norma INEN 1487 con el fin de tener información fundamentada en un control de calidad adecuado y levantamiento de información confiable (Norma INEN 1487, 2012).

En lo que respecta a la confiabilidad del instrumentando de evaluación de desempeño se aseguró la consistencia de las observaciones al estandarizar el proceso de evaluación; se llevaron a cabo inspecciones repetidas en distintos momentos durante la jornada de

trabajo para garantizar la estabilidad de los criterios registrados y se contrastó la información obtenida la percepción del operario responsable confirmando así la coherencia entre las observaciones y la experiencia práctica del proceso productivo.

2.5.3.2. Guía de Entrevista

La entrevista es un recurso útil para recopilar información de manera organizada y dirigida, garantizando que se traten los temas importantes sin restringir la libertad en las respuestas del entrevistado (Kvale & Brinkmann, 2009). Esta herramienta facilita la organización del proceso de indagación, permitiendo que el investigador mantenga el enfoque en los objetivos del estudio sin imponer una rigidez excesiva en la conversación.

En el presente estudio, la guía de entrevista fue propuesta por Córdor Chano & Coque Paucarima (2021b), quienes validaron el diseño de esta y recomendaron realizarla exclusivamente al jefe de producción, en este caso, un operario encargado. La entrevista tiene como propósito obtener información detallada sobre el proceso productivo, la cantidad de lotes generados durante una jornada y el tiempo empleado en cada etapa de producción. La guía se estructuró en torno a preguntas clave relacionadas con estos aspectos, asegurando que la información recopilada fuera precisa y alineada con los objetivos de la investigación.

2.5.3.2. Observación directa

La observación directa como instrumento de recolección de datos, según (Flick, 2007), se refiere a la recopilación sistemática de información mediante la observación detallada de los fenómenos tal y como ocurren en su contexto natural, sin intervención por parte del investigador. Este tipo de instrumento permite hacer un seguimiento de las conductas de las personas en el lugar de trabajo y recopilar información detallada sobre las interacciones y el entorno laboral.

En el marco de este estudio de investigación se empleó la observación directamente como herramienta para analizar el proceso productivo en la empresa fabricante de adoquines GUEFERZA. Dicha observación se llevó a cabo durante una jornada laboral en la que se seleccionaron aleatoriamente seis lotes para su observación.

El propósito de la observación directa fue la de obtener información de una muestra representativa de las actividades de producción y las diversas etapas mediante una lista de verificación, en el que consta el registro de tiempos de ejecución y las actividades que

llevaban a cabo los operarios en la producción, tomando una selección aleatoria de los lotes, con la finalidad de identificar las potenciales ineficiencias y puntos críticos.

La validación de este instrumento se basa en los aportes de Córdor Chano & Coque Paucarima (2021b), donde propusieron una estructura de lista de verificación desarrollado para productos similares al estudiado en esta investigación en los entornos industriales. En el caso de esta investigación, esta lista propuesta sirvió como base para poder adaptar a las necesidades de la empresa garantizando que todos los aspectos observados fueran apropiados a los objetivos planteados.

Para asegurar su fiabilidad previa en una situación controlada y segura se llevó a cabo una evaluación preliminar de la lista de verificación mediante una prueba piloto simulada en un ambiente de producción ficticio seleccionando al azar dos conjuntos para validar la configuración del instrumento. Durante esta fase se analizó que tan efectivo resulta el registro de datos lo que permitió ajustar el formato y las categorías de observación según las exigencias del contexto particular. Este piloto de prueba ayudó a garantizar que la lista de verificación funcionara de manera adecuada y fuera sencilla de usar en el entorno real de esta investigación.

Finalmente, la confianza también se basó en la aplicación uniforme de la lista de verificación en los seis lotes elegidos al azar para asegurar la coherencia y precisión de los datos recopilados.

2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información

2.6.1. Marco teórico mediante revisión bibliométrica de la literatura existente

Para la elaboración del marco teórico de la investigación, se llevará a cabo una exhaustiva revisión bibliométrica de la literatura existente sobre metodologías Lean Construction, con un enfoque especial en Lean Six Sigma, VSM, LPS, entre otras. Este análisis incluirá la identificación y síntesis de los hallazgos más relevantes de estudios previos, que servirán como base conceptual para la relación de las variables de la investigación. En este proceso se buscará comprender los principales avances, tendencias y enfoques aplicados en la gestión colaborativa dentro de proyectos de construcción, así como sus implicaciones en la mejora de la eficiencia operativa y logística. La metodología de revisión bibliométrica permitirá clasificar y organizar la información de manera

sistemática, con el fin de garantizar una base teórica sólida y alineada con los objetivos de la investigación. El resultado de esta revisión servirá para construir una conceptualización robusta de las variables involucradas, contribuyendo a la definición de un modelo de gestión colaborativo basado en Lean Construction.

2.6.2. Análisis de las fuerzas externas y condiciones económicas que afectan la eficiencia operativa

Para entender las fuerzas externas que impactan la gestión de la empresa, se llevará a cabo un análisis basado en fuentes secundarias disponibles en línea, tales como páginas web de empresas dedicadas a la promoción de adoquines, así como la consulta con agentes de ventas para obtener información relevante del sector. Además, se realizará un análisis de las condiciones económicas y un examen de las fuerzas competitivas dentro de la industria, utilizando el modelo de las 5 Fuerzas de Porter, aplicando este análisis específicamente al contexto de la Cámara de la Construcción de Quito. Este enfoque permitirá identificar las amenazas y oportunidades del mercado que afectan la competitividad y la eficiencia operativa de la empresa sin necesidad de realizar un estudio de mercado formal.

2.6.3. Diseño de un modelo de gestión colaborativo basado en Lean Construction

Para desarrollar el modelo de gestión colaborativa planeado se utilizará la estrategia Lean Construction en particular la metodología Lean Six Sigma para potenciar los procesos operativos y de distribución de la compañía. Como paso inicial se creará un formato para registrar los tiempos y procedimientos lo cual posibilitará el seguimiento de las tareas productivas y sus respectivos tiempos permitiendo identificar áreas específicas que necesitan mejoras. Se procederá a crear un plan detallado de las instalaciones para visualizar la secuencia de trabajo en la planta y así poder detectar áreas infrautilizadas y la necesidad de una reorganización para optimizar el proceso operativo. Además de este análisis se elaborará un diagrama explicativo de los procesos al lado de un esquema analítico que ayudará a representar visualmente las tareas y desplazamientos del personal para identificar fácilmente obstáculos y momentos sin actividad productiva. Estas herramientas incorporadas en un enfoque Lean ayudarán a detectar ineficiencias y áreas de mejora en el flujo de trabajo para optimizar los procesos logísticos y operativos dentro del modelo de gestión colaborativa.

2.7. Variables del estudio

En este estudio actual, se seleccionan las variables considerando la importancia de investigar cómo se relacionan entre sí. La variable independiente (Lean Construction (LSS)) se escoge por su capacidad para aumentar la eficiencia y reducir el desperdicio en los procesos de construcción. En cambio, la variable dependiente (modelo de gestión) nos garantiza una integración adecuada de los principios lean en la gestión empresarial dentro de la empresa de adoquines.

El objetivo principal de la presente investigación es la de “Presentar un enfoque colaborativo de gestión que integra Lean Construction para mejorar la eficiencia en la fabricación de adoquines”, lo que ayudará a proporcionar datos muy importantes y útiles para la toma de decisiones y originar una mejora constante en la empresa de adoquines.

- **Variable Independiente:** Lean Construction (LSS).
- **Variable Dependiente:** Modelo de gestión.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Diagnostico situacional

El análisis situacional de la empresa es una fase muy importante en la cual se combinan los enfoques: cualitativo, proporcionando información detallada y contextual que influyen en gran medida en la operatividad; y cuantitativo, que proporcionan datos numéricos acerca de la producción y la eficiencia en la empresa, con el objetivo de ofrecer una visión completa del rendimiento de la organización.

3.1.1. Recolección de datos cualitativos

Para la recopilación de datos cualitativos se utilizan diferentes técnicas como la entrevista semiestructurada y la observación directa, así como el análisis documental. Esto permite recolectar datos que no son numéricos pero que tienen un gran valor. Mediante estas técnicas es posible comprender mejor los aspectos subjetivos de la organización empresarial y la estructura organizativa junto a las influencias del entorno competitivo. A través de estos métodos se busca obtener una comprensión más completa y detallada de las fortalezas y debilidades de la empresa, así como las oportunidades y amenazas a las que se enfrentan. Estos aspectos contribuyen a establecer una base sólida para tomar decisiones estratégicas de manera efectiva.

3.1.1.1. Análisis documental

En el primer capítulo se observó un aumento notable en la investigación y uso de la Construcción Lean según el análisis bibliométrico realizado; resaltando su influencia en mejorar la eficiencia de los procesos y recursos en compañías relacionadas al ámbito de la construcción. Este estudio ha facilitado la identificación de los principales investigadores y trabajos que han contribuido al avance de esta metodología; sentando así una base sólida para investigaciones futuras.

Además de eso hemos logrado entender claramente las técnicas que se usaron los problemas que se abordaron y las herramientas y enfoques combinados para resolver

problemas eficientemente en diferentes situaciones. Además la revisión nos ha ayudado a identificar la mejor técnica para compañías que se dedican a producir y suministrar materiales de construcción resaltando Lean Six Sigma como una opción completa que ha demostrado dar resultados positivos en sectores similares.

Este proceso de revisión ha proporcionado las bases necesarias para estructurar el marco teórico, permitiendo un análisis fundamentado sobre la aplicación de Lean Six Sigma. Además, sustenta la formulación de la propuesta del modelo de gestión colaborativo, asegurando su alineación con enfoques y experiencias previas en la optimización de procesos en el sector de la construcción.

3.1.1.2. Generalidades de la empresa

La empresa de bloques y adoquines GUEFERZA ha construido una trayectoria de más de dos décadas basada en el esfuerzo, la dedicación y el compromiso con la calidad en la fabricación de prefabricados de hormigón. Los productos deben cumplir con estándares elevados y una resistencia acorde a la utilización con el fin de cubrir las demandas del mercado y la satisfacer las necesidades de los clientes, consolidándose así como una de las mejores empresas de adoquines de Quito. Sin embargo, basado en su conocimiento y posición en el mercado, puede construir sobre eso para elevar sus niveles y perfeccionar la organización internamente.

3.1.1.2.1. Misión

La misión de GUEFERZA es producir adoquines de alta calidad que satisfagan las necesidades de la industria de la construcción y aseguren resistencia y utilidad en cada proyecto realizado. Con su experiencia y compromiso en mente busca ofrecer soluciones asequibles y eficaces a sus clientes para así contribuir al progreso urbano y la infraestructura local.

3.1.1.2.2. Visión

La visión de GUEFERZA es la de convertirse en un líder en la producción de adoquines en el mercado de Ecuador; resaltando por una incansable búsqueda de mejoras en los procesos de fabricación y la eficiencia en su gestión operativa. La empresa también busca aumentar su competitividad mediante la adopción de las mejores prácticas en calidad y

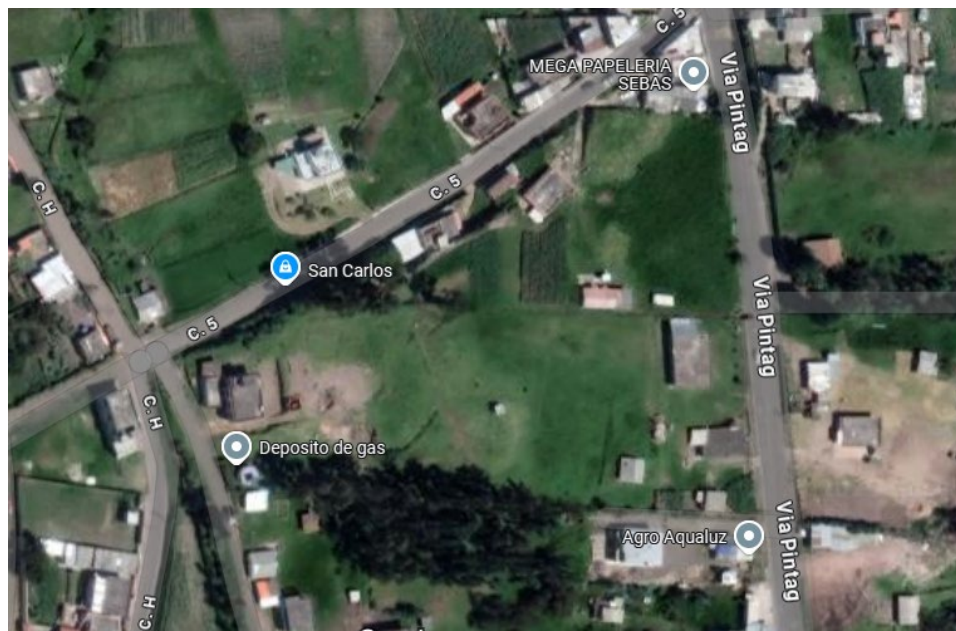
organización para asegurar productos confiables y asequibles orientados a la industria de la construcción.

3.1.1.2.3. Ubicación de la empresa

La empresa GUEFERZA se encuentra en la parroquia de Pintag, cantón Quito, provincia Pichincha en Ecuador, cuya ubicación exacta se puede visualizar Figura 13. Cabe mencionar que la ubicación se encuentra en la carretera principal de Pintag como una medida estratégica, ya que aquí, se puede transportar materias primas y es una zona industrial, esto con el fin de abastecer los productos de manera eficiente a toda la ciudad.

Figura 13

Ubicación de la empresa



Nota: Adquirido de google maps (2025).

3.1.1.3. Análisis del impacto de las fuerzas externas

El modelo de las 5 Fuerzas de Porter es una herramienta estratégica que permite evaluar el entorno competitivo de una organización, identificando factores externos que pueden impactar en su desempeño. En el contexto de GUEFERZA, una empresa dedicada a la producción de adoquines de concreto en Quito, Ecuador, este análisis resulta esencial para entender las dinámicas del mercado local y desarrollar estrategias competitivas. Al evaluar los riesgos planteados por potenciales competidores emergentes y la influencia de los proveedores y clientes en las negociaciones comerciales existentes junto al grado

de rivalidad entre competidores ya establecidos y la presencia de alternativas de productos en el mercado se pretende obtener una comprensión completa del panorama empresarial y las oportunidades y retos que la compañía enfrenta actualmente. Este planteamiento contribuirá al establecimiento de cimientos robustos para la adopción de un enfoque colaborativo gestionado conforme al modelo Lean Six Sigma.

3.1.1.3.1. Rivalidad entre competidores existentes

Dentro del mercado de la fabricación de adoquines en Quito, se han incorporado nuevos competidores que resultan un desafío para GUEFERZA. Una creciente demanda de materiales de construcción en la ciudad ha despertado un interés en empresas que buscan consolidarse como líderes de mercado mediante técnicas innovadoras y precios bajos. Rhyno Materiales es uno de esos casos, esta empresa ha tenido un gran crecimiento debido a su gama muy diversa de productos, mediante el uso de maquinarias especializadas y técnicas de publicidad de sus productos en redes sociales, haciendo uso la tecnología a su favor.

Aunque los nuevos competidores utilizan técnicas innovadoras tanto en fabricación como en publicidad, no hay que olvidar que GUEFERZA cuenta con la experiencia para atender las grandes demandas, lo que le otorga una ventaja competitiva ante los nuevos competidores. Este análisis permite identificar áreas estratégicas donde la empresa puede fortalecer su posicionamiento y reducir el impacto potencial de nuevos participantes en el mercado.

Tabla 14

Resumen de nuevos competidores en el mercado de adoquines

Competidor	Fortalezas	Amenaza para GUEFERZA
Rhyno Materiales	Precios competitivos, atención personalizada, presencia en redes sociales.	Capacidad para captar nuevos clientes mediante precios bajos y marketing digital.
Ecuablock	Experiencia en el sector, enfoque en eficiencia logística.	Expansión hacia adoquines, lo que podría poner presión en el mercado local.
Inablocks		Ha tenido un crecimiento rápido y posibles precios agresivos en adoquines.

	Empresa relativamente joven que cuenta con innovación en productos prefabricados.	
Konkret	Tiene una amplia experiencia en proyectos nacionales, alta calidad.	Se considera una competencia fuerte debido a su solidez y reputación.
Prefabricados Virgen del Quinche	Tiene un enfoque en calidad y certificación de productos.	Es muy atractiva para los clientes ya que priorizan la fiabilidad y estándares altos.

En la Tabla 14 se puede evidenciar los nuevos competidores que han llegado al mercado de los prefabricados de hormigón en Quito, en especial los adoquines. Rhyno Materiales, Ecuablock, Inablock, Konkret y Prefabricados Virgen del Quinche son los nuevos competidores que a través de una gama muy diversa de productos y precios competitivos buscan convertirse en los nuevos líderes del mercado de adoquines.

La empresa Rhyno Materiales cuenta con una amplia gama de productos que podrían representar un desafío para la empresa GUEFERZA en muy poco tiempo, ya que han ganado mucho campo en los últimos dos años, a través de un amplio catálogo y una amplia publicidad a través de redes sociales busca convertirse en un pilar de la distribución de prefabricados de hormigón.

Ecuablock ya cuenta con 15 años de experiencia en la fabricación de los prefabricados de hormigón, por lo tanto, cuenta con una cartera de clientes ya consolidado, con un catálogo muy diverso y una producción de adoquines de alta calidad, esta empresa tiene el potencial de convertirse en una de las más importantes empresas de distribución de adoquines y en general cualquier prefabricado de hormigón.

La empresa Inablocks representa una nueva competencia debido a la rápida incursión que ha tenido en el mercado a pesar de ser muy joven, ha tenido una buena aceptación entre los consumidores aun cuando no cuenta con un catálogo muy amplio de productos. En contraste, Konkret al tener ya experiencia lo convierte en una gran competidora, ya que tiene establecida una cartera de clientes tanto públicos como privados y un enfoque en proyectos urbanos de la capital.

Por último y no menos importante, Prefabricados Virgen del Quinche se destaca por su compromiso con sus clientes al ofrecer productos de buena calidad a precios muy

competitivos, lo que se lo percibe como un actor muy importante en el mercado de la capital cuyo objetivo es la de ofrecer a sus clientes productos con altos estándares, resistencia y durabilidad.

Estas compañías no solo suponen un desafío en términos de precios sino también en lo que respectan a la calidad del producto y su capacidad de adaptación al mercado actual y futuro; esto significa que GUEFERZA debe centrarse en la innovación constante y la mejora continua para conservar su posición competitiva y garantizar procesos eficientes y productos únicos que se ajusten a las necesidades del mercado.

3.1.1.3.2. Poder de negociación de los proveedores

El poder de negociación de los proveedores afecta directamente los costos de producción y la competitividad de GUEFERZA. Proveedores como Holcim Ecuador tienen alta influencia por su tamaño, mientras que las canteras locales, con mayor competencia, reducen ese poder. Estrategias como contratos a largo plazo o compras en volumen pueden mitigar este impacto, asegurando mejores condiciones y estabilidad.

Tabla 15

Proveedores de cemento

Proveedor	Posicionamiento en el Mercado	Poder de Negociación	Estrategias de Mitigación de Poder
Holcim Ecuador	Líder en el mercado con fuerte presencia y acuerdos a largo plazo	Alto	Contratos a largo plazo, compras en volumen
Unacem Ecuador	Fuerte presencia, pero con competencia regional	Alto	Diversificación de proveedores, negociación de descuentos por volumen
Cemento Chimborazo	Proveedor más pequeño, pero con opciones competitivas en precios	Moderado	Evaluar precios alternativos, considerar acuerdos con otros proveedores locales

Como se puede observar en la Tabla 15, se evalúa el poder de negociación de los proveedores de cemento, que es uno de los insumos clave para la producción de adoquines. Holcim Ecuador y Unacem Ecuador son proveedores con una fuerte presencia en el mercado, lo que les otorga un alto poder de negociación debido a su tamaño y

estabilidad. GUEFERZA podría mitigar este poder mediante contratos a largo plazo o compras en grandes volúmenes. Cemento Chimborazo, aunque más pequeño, ofrece una alternativa en términos de precios competitivos, lo que le otorga un poder de negociación moderado y brinda opciones a GUEFERZA para diversificar sus fuentes de suministro.

Tabla 16

Proveedores de materiales pétreos (canteras)

Proveedor	Ubicación	Ventajas Competitivas	Poder de Negociación	Estrategias de Mitigación de Poder
Cantera San Catiquilla	Cerca de Quito	Ventaja logística y menor costo de transporte	Moderado	Negociar precios preferenciales por volumen
Cantera de Calderón	Quito	Estabilidad de suministro y cercanía	Moderado	Consolidación de contratos a largo plazo
Canteras de la Mitad del Mundo	Quito	Alternativa ecológica y sostenible	Bajo	Diversificar proveedores, buscar precios competitivos

Como se evidencia en la Tabla 16, los proveedores de materiales pétreos tienen un poder de negociación moderado, ya que existe una competencia significativa entre las canteras locales en Quito. La Cantera San Catiquilla tiene un moderado poder de negociación dentro del mercado local, esto debido a que su ubicación es cercana a la capital. La cantera de Calderón también cuenta con un poder de negociación similar a San Catiquilla. En contraste, la cantera Mitad de Mundo suele ser la mejor alternativa debido a que es más amigable con el ambiente y la consolida en términos de sostenibilidad. Este análisis revela la mejor opción de proveedores de material pétreo con la finalidad de adquirir productos en grandes cantidades con contratos a largo plazo.

3.1.1.3.3. Poder de Negociación de los Clientes

Los clientes que tiene GUEFERZA poseen la capacidad de ejercer presión sobre los precios establecidos e influencia que varía según el grupo al que pertenecen y la cantidad de compras realizadas. Organismos gubernamentales municipales y empresas

constructoras del mercado local por lo general suelen tener un mayor poder de negociación debido a su adquisición a gran escala. En contraste los consumidores individuales tienen un poder de negociación menor ya que sus compras son más pequeñas en escala y suelen ajustarse a precios preestablecido. Este estudio destaca la relevancia que tiene adaptar diferentes enfoques para cada sector, a fin mantener la competitividad en un mercado tan exigente como el dedicado a los adoquines en Quito.

Tabla 17

Segmentación de clientes y su poder de negociación en el mercado de adoquines

Segmento	Descripción	Poder de Negociación	Impacto en GUEFERZA
Constructoras Locales	Grandes proyectos de urbanización y construcción. Compran en altos volúmenes.	Alto	Exigen descuentos significativos, plazos de pago flexibles y calidad. Pueden buscar alternativas.
Gobiernos Municipales	Consumo masivo para obras públicas. Contratos mediante licitaciones.	Alto	Presionan precios y márgenes mediante licitaciones, pero dependen de proveedores locales confiables.
Particulares	Proyectos pequeños como la decoración de patios y jardines, compras en un nivel reducido.	Bajo	Los precios estándares son bien recibidos y su efectividad en los ingresos es limitada; sin embargo, mantener la fidelidad puede construir confianza.

En la Tabla 17 se presenta un análisis el cual indica que las empresas constructoras locales y gobiernos municipales son los clientes de mayor relevancia para tomas estratégicas de la empresa GUEFERZA, estos al poseer una fuerte capacidad de negociar tiene el objetivo de ejercer influencia significativa para la reducción de los precios de los productos. Por el contrario, los clientes particulares tienen un peso menor y aunque no tienen un alto poder de negociación se consolidan como clientes leales que ayudan a mejorar la reputación de la empresa.

3.1.1.3.4. Amenaza de productos sustitutos

Los productos como: pavimento de hormigón; asfalto; y las innovadoras eco-baldosas recicladas, representan una amenaza como productos que pueden sustituir a los

adoquines. Estas opciones son preferidas en proyectos que buscan reducir costos iniciales y promover la sustentabilidad, sobre todo en iniciativas gubernamentales que buscan cumplir normativas ambientales (Gobierno del Ecuador, 2024). Por ejemplo, el pavimento de asfalto tiene un precio promedio de entre \$12 y \$20 por metro cuadrado y compite directamente contra los adoquines cuyo costo de aproximadamente entre \$10 y \$15 por metro cuadrado (INEC 2024).

A pesar de otras opciones disponibles en el mercado actualmente; los adoquines aún mantienen su relevancia gracias a atributos como resistencia al paso del tiempo y al clima adversos. Su apariencia estética y la facilidad para realizar arreglos puntuales los convierten en una elección preferida en proyectos de urbanización y vivienda (Cámara de Construcción de Quito, 2023). Además de ello su capacidad para integrarse en diseños que priorizan la sustentabilidad puede potenciar su presencia en un sector marcado por las tendencias globales y locales que impulsan prácticas constructivas más amigables hacia el medio ambiente (Gobierno del Ecuador, 2024).

Para contrarrestar este peligro existente las compañías como GUEFERZA podrían distinguir sus productos mediante avances tecnológicos innovadores y expandirse hacia alternativas sustentables como pavimentos permeables y llevar a cabo campañas educativas que resalten sus ventajas distintivas en comparación con los reemplazos disponibles.

3.1.1.3.5. Rivalidad entre Competidores

La quinta fuerza del modelo de Porter es fundamental para comprender cómo las empresas de adoquines en Quito gestionan su competitividad y qué factores influyen en la intensidad de la competencia debido a la rivalidad entre los competidores existentes en el mercado local de adoquines. Empresas como: Hormiblock, Hormipisos, Galarami y Adoquines Quito compiten por posicionarse en el mercado local.

Las grandes empresas dominan el mercado local de adoquines, estas ofrecen productos similares en cuanto a la calidad y sus precios, provocando así una feroz competencia con la finalidad de atraer a los clientes tanto urbanos como residenciales. A continuación. Se presenta una tabla con el resumen de las características clave de las empresas y su impacto en el mercado.

Tabla 18*Rivalidad entre competidores en el mercado de adoquines en Quito*

Empresa	Productos Principales	Fortalezas Principales	Oportunidades de Crecimiento
Hormiblock	Adoquines, bloques de hormigón	Alta resistencia, cumplimiento de normas internacionales	Expansión en proyectos de urbanización y grandes infraestructuras
Hormipisos	Adoquines, pisos de concreto	Enfoque en estética y durabilidad	Creciente demanda en proyectos residenciales y comerciales
Galarami	Adoquines, bloques, bordillos	Innovación y diversificación de productos	Atractivo para proyectos públicos de pavimentación de avenidas
Adoquines Quito	Adoquines, bloques y bordillos de hormigón	Reputación local, fiabilidad	Crecimiento de la infraestructura pública y privada en Quito

En la Tabla 18 se puede ver una comparación entre las principales empresas del mercado de adoquines en la capital. La competencia está determinada por distintos factores, como calidad y durabilidad de los productos. Hormiblock cumple con normas internacionales, Hormipisos tiene un enfoque en la estética, en cambio Galarami tiene habilidad de innovar y proporcionar soluciones a proyectos de gran envergadura. Por último, Adoquines Quito cuenta con una reputación local muy marcada, manteniéndolo estable en el mercado de la capital.

En cuanto a las oportunidades, todas las empresas tienen el potencial y la oportunidad de crecer de manera significativa debido al aumento de la demanda de pavimentos en la capital, esto ha generado una competencia muy feroz debido a la similitud que hay en los productos de cada empresa, todas presentan alta calidad y precios competitivos con el fin de abarcar la mayor cantidad de clientes.

3.1.1.4. Análisis FODA

El análisis FODA desarrollado para GUEFERZA nos aporta una visión integral y valiosa información de los factores internos y externos que influyen en el desempeño competitivo del mercado de adoquines en Quito. La demanda de materiales de construcción sigue en aumento debido a la expansión en la capital. Aunque GUEFERZA tiene una gran

oportunidad de crecer por lo anterior mencionado, también se enfrenta a los desafíos de la alta competencia con empresas como Hormiblock, Hormipisos y Adoquines Quito. Este análisis tiene la finalidad de revelar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, de tal manera que se podrá gestionar las distintas estrategias con el fin de garantizar la sostenibilidad y el crecimiento de la empresa en el mercado local.

3.1.1.4.1. Fortalezas

- **Experiencia en el mercado local:** GUEFERZA tiene una larga trayectoria en el mercado local, ha acumulado experiencia en la fabricación de adoquines, gracias a la fabricación y distribución de adoquines de calidad se ha establecido como un proveedor confiable para los proyectos tanto viales como de construcción a nivel local.
- **Capacidad de producción:** La empresa tiene una buena capacidad de producción, gracias a su buena infraestructura y maquinaria adecuada para la fabricación, GUEFERZA tiene la capacidad de gestionar la producción y distribución de grandes cantidades de pedidos de adoquín.
- **Red de clientes leales y comprometidos:** También tiene una relación de clientes que están comprometidos en la compra de sus productos, esto gracias a los nexos que se han ido generando en los años con empresas constructoras locales. Por ende, GUEFERZA tiene un flujo continuo de ingresos.
- **Ubicación estratégica:** La fábrica de GUEFERZA se encuentra en una buena ubicación, esto debido a que se encuentra ubicada en Pintag. El objetivo de esta ubicación es netamente estratégico, ya que gracias a esto se puede agilizar el ingreso de materiales y la salida de sus productos.
- **Mano de obra con experiencia:** La empresa cuenta con una mano de obra que tiene mucha experiencia, esto gracias a la cantidad de años acumulados fabricando los adoquines y al saber técnico de la elaboración de los mismos. Por lo tanto, esto les ha permitido obtener productos de excelente calidad y una buena consistencia en la fabricación de los adoquines.
- **Trayectoria en el mercado:** La empresa tiene una excelente trayectoria en el mercado, esto debido a sus años sirviendo como proveedor de adoquines, lo que

le ha permitido cumplir con el objetivo de ser una empresa de confianza y con una buena reputación en el campo de la construcción.

- **Adaptación en la producción:** GUEFERZA puede adaptarse a la producción, esto gracias a la versatilidad del equipo de trabajo y la maquinaria disponible, lo que le ha permitido cumplir con las entregas de adoquines en diferentes escalas.

3.1.1.4.2. Oportunidades

- **Desarrollo del sector de la construcción en Quito:** Una gran oportunidad de crecimiento se da gracias a la expansión que ha vivido la capital en los últimos años, esto se da por las constantes iniciativas de crear infraestructura en el sector particular, generando así una necesidad cada vez más creciente de adquirir los prefabricados de hormigón, en especial adoquines.
- **Adopción de prácticas más sostenibles:** Debido a nuevas normativas de prácticas más amigables con el medio ambiente, GUEFERZA tiene la oportunidad de integrar prácticas más sostenibles, innovando en sus procesos y generando adoquines que sean más ecológicos, esto con el fin de cumplir las normativas ambientales y respetando al medio ambiente.
- **Expansión a nuevos segmentos de mercado:** La exploración de nuevos segmentos de mercado sigue siendo una oportunidad de crecimiento para las empresas que se enfocan en clientes particulares y proyectos residenciales de menor escala. Estos segmentos no están tan centrados en competir únicamente en base al precio más bajo disponible.
- **Acceso a tecnología de optimización de procesos:** Utilizar tecnología para optimizar procesos podría ser beneficioso, ya que la aplicación de Lean Six Sigma y otras metodologías podría ayudar a aumentar la eficiencia operativa y disminuir el desperdicio en la producción.
- **Inversión en infraestructura vial y urbana:** Gracias a la inversión que ha habido en la infraestructura vial y urbana por parte del gobierno en la capital, GUEFERZA tiene la oportunidad de encaminarse como proveedor del estado, con el objetivo de consolidar una negociación sólida con las entidades estatales que se dedican a ejecución de obras civiles.

- **Disponibilidad de financiamiento y apoyo gubernamental:** Tomando en cuenta el punto anterior, el gobierno ha brindado apoyo a empresas pequeñas y medianas que se dedican a proveer este tipo de prefabricados de pavimentación superficial, mediante programas de financiación se pretende ayudar a la expansión de estas empresas con el objetivo de apoyar la modernización y una producción de excelente calidad.
- **Potencial para certificaciones de calidad:** Posibilidad para obtener certificaciones que garanticen la calidad del producto, como ISO 9001 o normas INEN, podría favorecer la competitividad empresarial y facilitar su acceso a mercados más exigentes.

3.1.1.4.3. Debilidades

- **Dependencia de grandes clientes:** La dependencia de GUEFERZA en grandes clientes es notable ya que se basan principalmente en las demandas de empresas constructoras locales y entidades municipales; esto los expone a posibles variaciones que puedan surgir en los proyectos de construcción en los que participan.
- **Costos de producción relativamente altos:** GUEFERZA tiene costos de fabricación relativamente más altos que los competidores que están ganando campo en el mercado local, esto debido a la alta calidad que tienen sus productos, cumpliendo así uno de sus objetivos de la organización que es la de distribuir un producto con los más altos estándares de calidad.
- **Capacidad limitada de diversificación:** Aunque GUEFERZA cuenta con un buen catálogo de productos, no ha integrado nuevos prefabricados a su lista desde hace varios años, lo que le hace perder la oportunidad de explorar nuevos campos de distribución como son los postes de cerramiento y piedras de lavar. En ese aspecto, la empresa ha limitado su flexibilidad para adaptarse a las nuevas demandas.
- **Procesos poco estandarizados:** Si bien los productos de la empresa son de muy buena calidad, esto se debe a la experiencia del personal para seleccionar de manera adecuada los materiales y dosificaciones de los mismo, por lo tanto,

GUEFERZA no cuenta con procedimientos estandarizados, lo que puede recaer en ineficiencias al momento de la producción.

- **Falta de acreditaciones de calidad:** Como se planteó en el punto anterior, GUEFERZA tiene productos de muy buena calidad a ensayos, pero lastimosamente no cuenta con acreditaciones de calidad, lo que podría jugar un papel importante al presentarse como un proveedor del estado. Por eso es importante orientar al gerente de la organización a adquirir acreditaciones de calidad para cumplir con los estándares específicos que permitan aplicar a procesos del estado que exigen estos certificados.
- **Falta de inversión en innovación:** GUEFERZA no ha innovado con tecnología actual, a pesar de tener buenos ingresos y una cartera robusta de clientes, la empresa ha detenido su expansión, por lo que es necesario una inversión en tecnología tanto en maquinaria como en adopción de prácticas modernas como Lean Construction.
- **Marketing y presencia digital insuficientes:** La robusta cartera actual de clientes que tiene GUEFERZA ha descuidado el campo del marketing, lo que lo ha llevado a estancarse en el crecimiento de la clientela. Empresas como Rhyno Materiales ha tenido un gran crecimiento gracias a su presencia en redes sociales, por lo que es necesario que GUEFERZA tome las riendas en el marketing y realice una buena publicidad de sus productos.

3.1.1.4.4. Amenazas

- **Gran competencia a nivel local:** En la capital se ha desatado una gran competencia debido a la presencia de los nuevos competidores como: Hormiblok, Hormipisos, Adoquines Quito y Galarami. Mediante la propuesta de productos con similar calidad a los adoquines de GUEFERZA, pero con precios menores, estas empresas han aumentado la presión sobre GUEFERZA.
- **Cambios en los precios de los materiales:** Últimamente, los materiales necesarios en la industria de la construcción han aumentado de precio, esto se debe a la política tan cambiante que vivimos hoy en día, lo que puede conllevar al aumento del costo de insumos (cemento, arena y ripio) y con esto el incremento del precio del adoquín.

- **Regulaciones más estrictas:** Los municipios se vuelven cada vez más estrictos y exigen con severidad las regulaciones pertinentes para poder aceptar los productos, en el caso de GUEFERZA, al momento de proveer para el estado la empresa deberá cumplir con estas rigurosas normativas, lo que conllevaría en gastos adicionales.
- **Problemas económicos y desaceleración en la industria de la construcción:** Hay que tener en cuenta que se puede dar una recesión en la inversión tanto pública como privada de infraestructuras, por lo que conllevaría a bajar la demanda de los adoquines y como consecuencia pérdidas enormes de capital debido a la falta de solicitud de adoquines.
- **Aparición de materiales sustitutos:** Hay que tener en cuenta que se puede dar una recesión en la inversión tanto pública como privada de infraestructuras, por lo que conllevaría a bajar la demanda de los adoquines y como consecuencia pérdidas enormes de capital debido a la falta de solicitud de adoquines.
- **Problemas logísticos y de transporte:** Aunque GUEFERZA tiene un buen plan logístico y una buena ubicación, no hay que descartar los problemas tanto de transporte como de tráfico y sectores donde hay restricción vehicular de camiones, generando así inconvenientes tanto en la adquisición de insumos para la fabricación como retrasos en la entrega de los productos.
- **Posibles conflictos laborales:** La falta de un sistema estructurado de incentivos o condiciones laborales óptimas podría generar problemas internos que afecten la productividad.

Tabla 19

FODA de la empresa GUEFERZA

Fortalezas	Oportunidades
- Experiencia en el mercado local	- Crecimiento del sector de la construcción
- Capacidad de producción	- Adopción de prácticas sostenibles
- Red de clientes fidelizados	- Expansión a nuevos segmentos de mercado
- Ubicación estratégica	- Acceso a tecnología de optimización de procesos
- Mano de obra con experiencia	- Inversión en infraestructura vial y urbana
- Reputación en el mercado	
- Flexibilidad en la producción	

	- Disponibilidad de financiamiento y apoyo gubernamental: - Potencial para certificaciones de calidad
Debilidades	Amenazas
- Dependencia de grandes clientes	
- Costos de producción relativamente altos	- Competencia local fuerte
- Capacidad limitada de diversificación	- Fluctuaciones en los costos de materiales
- Procesos poco estandarizados	- Regulaciones más estrictas
- Falta de certificaciones de calidad	- Crisis económicas y desaceleración del sector construcción
- Limitada inversión en innovación	- Aparición de materiales sustitutos
- Marketing y presencia digital insuficientes	- Problemas logísticos y de transporte
	- Posibles conflictos laborales

En la Tabla 19 se presenta una síntesis del análisis FODA realizado para la empresa GUEFERZA, mediante el análisis de las fuerzas externas e internas de la empresa, se llegó a determinar que, a pesar de enfrentar importantes retos también tenemos grandes oportunidades debido a la expansión que está teniendo Quito. Entonces, es necesario para la empresa ampliar su base de clientes, su gama de productos y adoptar nuevas tecnologías con el fin de mantenerse posicionada como una de las mejores empresas en el mercado local. La clave para GUEFERZA será aprovechar estas oportunidades mientras mitiga las amenazas externas y fortalece sus debilidades internas, como la dependencia de grandes clientes y los costos de producción relativamente altos.

3.1.1.5. Entrevista

Para conocer el proceso de producción desarrollado en la empresa, se llevó a cabo una entrevista utilizando una guía incluida en el Anexo 1, dirigida a uno de los participantes en la fabricación de adoquines. Es importante destacar que no existe un supervisor de producción y en su lugar se designó a un empleado que forma parte del equipo de producción que cuenta con experiencia directamente relacionada a la manipulación de los materiales y las diferentes fases del proceso de producción. Esta elección se basó en su conocimiento práctico y la participación activa. El propósito de la entrevista era recopilar información detallada sobre las fases de producción de adoquines: los materiales empleados en el proceso y la cantidad fabricada; así como identificar los problemas

habituales a fin de adentrarse en las dinámicas internas y descubrir posibles áreas de mejora en la producción de adoquines.

La entrevista se la realizó al jefe de producción, cabe mencionar que, en sí no hay un jefe de producción formalmente, sino que el operario que cuenta con más experiencia es el que lidera al grupo de trabajo. la entrevista recaba información acerca del funcionamiento del proceso productivo y los desafíos que enfrenta dicho proceso, además de información de cantidad de insumos necesarios y el número de personas que se ven involucrados en el proceso de producción. Esta entrevista tiene el objetivo de recopilar información de mano del principal implicado de la producción con el fin de identificar puntos fuertes y áreas de mejora en la producción.

Respuestas:

- 1. ¿Qué actividades se llevan a cabo en cada etapa del proceso de producción de adoquines y cómo se organizan?*

Para la fabricación de los adoquines se siguen los siguientes pasos:

Primero se realiza el proceso de **preparación de materiales** en la planta mediante la recepción y almacenamiento de los insumos como el polvo azul y la chispa que son fundamentales en la elaboración de adoquines.

Luego realizamos la **dosificación** de la cantidad de materiales, que se calculan para cada uno de los lotes de producción y se miden mediante carretillas para asegurar la precisión en la cantidad de cada material necesario para la producción.

Mezclado de los materiales se combinan en una proporción determinada para lograr la textura adecuada, luego se vierten en la máquina que les da forma y continúan al siguiente paso del proceso de fabricación de adoquines.

Compactado y vibrado, que son cruciales en esta fase para garantizar la compactación adecuada de los adoquines y así lograr resistencia y durabilidad óptimas.

Por último, cuando los adoquines se han conseguido su forma final, son **retiradas** y colocadas en paletas para su almacenamiento.

Fraguado y curado: Los adoquines se dejan reposar para que fragüen y adquieran la resistencia necesaria antes de ser distribuidos.

2. *¿Cuáles son los materiales y las cantidades necesarias para elaborar un lote de adoquines? ¿Cuántas unidades se producen con estas proporciones?*

Utilizamos los siguientes materiales para cada lote de producción:

50 kg de cemento industrial tipo HE

5 carretillas de polvo azul (350 kg Aprox.)

1 carretilla de chispa (52 kg Aprox.)

28 kg de agua Aprox.

Con esta cantidad de materiales, se obtiene 1 lote de 60 adoquines hexagonales de 8.5 mm de espesor.

3. *¿Cuántas personas participan en el proceso de producción y cuáles son sus roles específicos en cada etapa?*

En el proceso de producción participan 3 personas, y cada una realiza tareas específicas en las siguientes etapas:

1 persona se encarga de la dosificación de materiales y también de colocar la mezcla en la máquina vibrocompactadora. Esta persona mide y prepara las cantidades de cada material y luego se asegura de verter la mezcla en la máquina para darle forma a los adoquines.

1 persona se dedica al proceso de compactado y vibrado. Esta persona asegura que la mezcla se compacte adecuadamente y se someta al proceso de vibrado para obtener la consistencia y forma necesaria.

1 persona supervisa el proceso y se encarga de retirar los adoquines una vez que han sido formados. Esta persona también controla que el proceso de compactado y vibrado se realice correctamente, y una vez que los adoquines están listos, retira los adoquines para proceder a almacenar.

4. *Según su experiencia, ¿cuáles son los principales problemas que enfrenta el proceso de producción, qué defectos suelen presentar los adoquines terminados, y cuántos lotes se producen semanalmente?*

En promedio son fabricados alrededor de 120 lotes semanales y esta cantidad de lotes está sujeta a varios factores tales como: disponibilidad de las materias primas; condiciones

climáticas; y rendimiento de los equipos. A veces se sufren contratiempos por lo anterior mencionado.

5. *¿Cuáles son los inconvenientes que se presentan durante el proceso de fabricación y qué tipos de defectos suelen observarse en los adoquines producidos?*

Algunos de los problemas que enfrentamos en el proceso de producción incluyen el desgaste de los moldes y la rotura de los rodamientos de las máquinas. En lo que respecta a los problemas de los adoquines más habituales se encuentran las variaciones en las dimensiones y la porosidad junto a deficiencias en la resistencia física de los mismos; estos fallos suelen ser consecuencia de variaciones en el proceso de compactación y en la calidad de los materiales utilizados.

6. *¿Qué factores afectan la cantidad de lotes que se pueden producir semanalmente?*

La calidad de los adoquines está estrechamente ligada a elementos como su peso y dimensiones que deben ajustarse a los estándares establecidos por las normativas pertinentes y es fundamental mantener la coherencia en estos aspectos para asegurar su solidez y longevidad; por lo tanto se supervisa minuciosamente la combinación de materiales y el método de compactación.

7. *¿Qué controles de calidad se implementan durante las distintas etapas del proceso de fabricación, y cómo garantizan el cumplimiento de los estándares establecidos?*

En lo que respecta al control de calidad llevamos a cabo lo siguiente:

Se hace un control de la manejabilidad de la mezcla asegurándonos de que tenga la consistencia correcta para el proceso de compactación.

Hacemos un control de dimensiones, es decir que evaluamos el tamaño de los adoquines para garantizar que cumplan con los estándares establecidos.

Hacemos una supervisión del fraguado, por lo tanto, llevamos un registro del tiempo de fragüe para garantizar que los adoquines adquieran la resistencia necesaria antes de ser movidos o repartidos.

Esta información se ha recopilado a través de la entrevista y observaciones directas durante el análisis del proceso de producción y ha sido minuciosamente evaluada y

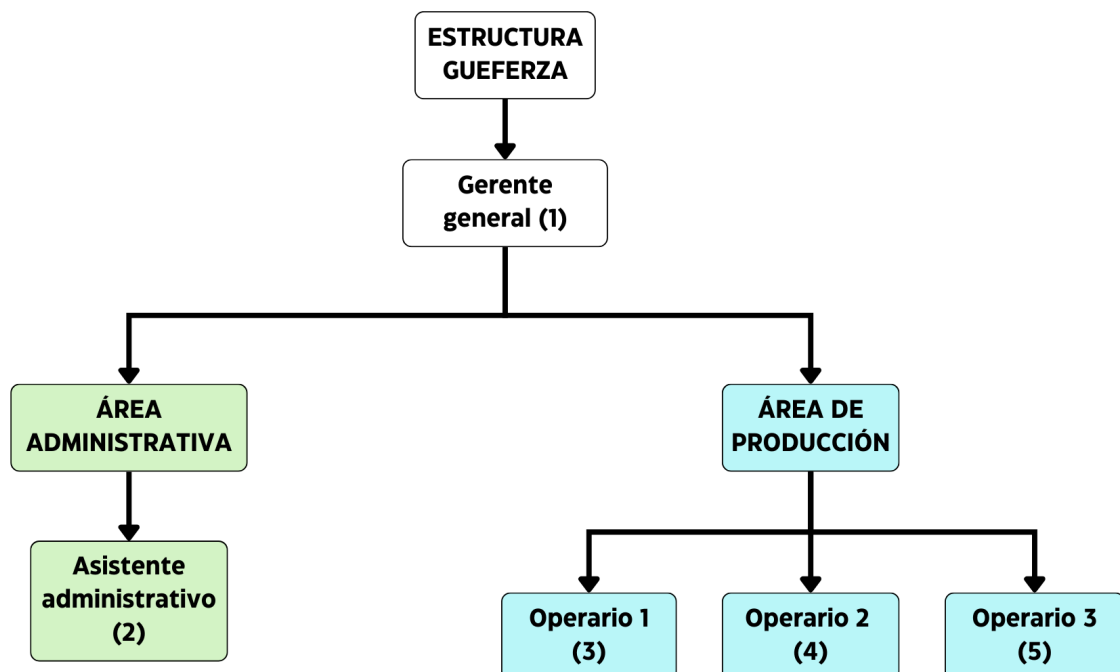
enriquecida mediante detalles obtenidos de los lotes fabricados. Este enfoque integral permitió consolidar la estructura organizativa, las etapas del proceso de producción y otros aspectos clave que se describen en este capítulo. Además, los datos recabados proporcionan una base sólida para identificar áreas de mejora, evaluar la eficiencia operativa y garantizar el cumplimiento de estándares de calidad en la fabricación de adoquines.

3.1.1.6. Estructura de la empresa

La empresa se clasifica como una microempresa, ya que cuenta con una estructura organizativa reducida conformada por cinco personas, lo que incluye al personal de producción y a quienes desempeñan funciones administrativas. Esta clasificación depende mucho del tamaño del equipo laboral y se encuentra acorde a la regulación ecuatoriana de microempresas que lo establecen para empleados que se encuentran entre 1 y 9.

Figura 14

Organigrama de personal de la empresa



La empresa se maneja como Persona Natural Obligada a Llevar Contabilidad, lo que implica que tiene la obligación de registrar todas las transacciones financieras y

transacciones operativas de manera formal, garantizando así el cumplimiento de obligaciones fiscales y legales y asegurando actividades laborales transparentes. Al ser una microempresa, optimiza recursos al mantener una estructura de personal ajustada a sus necesidades productivas, característica común en negocios familiares dedicados a actividades de producción artesanal.

En la Figura 14 se muestra el diagrama del personal de la empresa; bajo la supervisión del Gerente General Juan Guerrero que se encarga de la gestión general y distribución de materiales se ubican las distintas áreas de la empresa; el área administrativa identificada en verde está compuesta por el Asistente Administrativo responsable de las labores de oficina y documentación. Además, es responsable de la propaganda y la promoción comercial, lo que facilita la comunicación con los clientes y el manejo de la información clave para el correcto funcionamiento de la empresa.

En color celeste se encuentran las funciones relacionadas con producción. En esta área, hay tres operarios encargados de las tareas específicas. El Operario 1 se encarga de la dosificación de materiales y la colocación de la mezcla en la máquina vibrocompactadora, midiendo y preparando las cantidades exactas de los insumos. El segundo operario realiza el compactado y vibración para garantizar que la mezcla adquiera la consistencia y forma correctas. Finalmente, el tercer operario supervisa todo el proceso, retirando los adoquines formados y verificando la calidad del producto antes de almacenarlo.

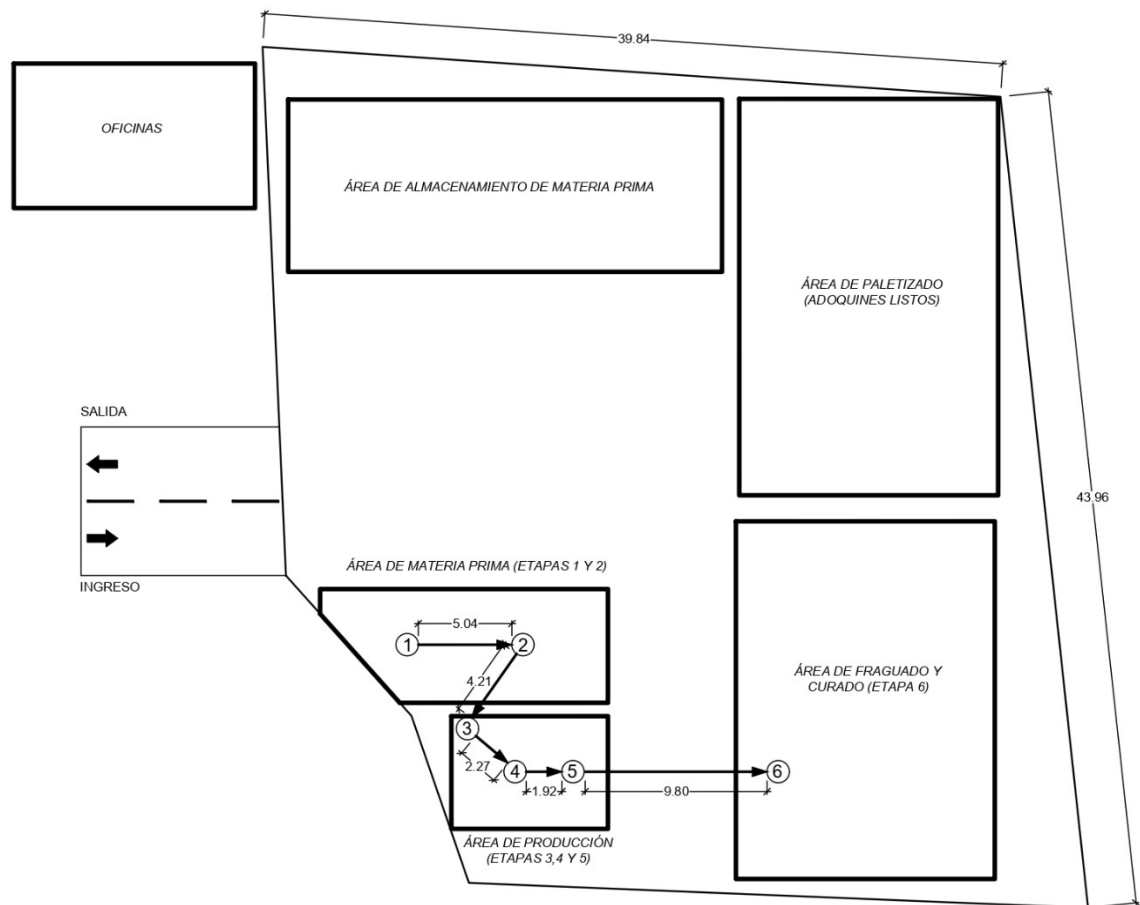
La presente organización facilita una asignación clara de roles y responsabilidades en cada departamento para asegurar una ejecución eficiente de las tareas.

3.1.1.7. Esquema distributivo de las instalaciones de GUEFERZA

El terreno en el cual se ubican las instalaciones tiene un área aproximada de 1717.53 metros cuadrados, lo que significa que la empresa tiene una buena área para realizar las actividades. En la Figura 15 se puede visualizar el esquema de instalaciones, donde se puede verificar que el espacio tiene una buena organización para poder llevar a cabo todas las actividades de producción y almacenamiento de adoquines.

Figura 15

Esquema de instalaciones y recorrido del proceso productivo



Tal como nos muestra la Figura 15, el diseño de cada una de las zonas de trabajo dentro de las instalaciones tiene el objetivo de mejorar los procesos de producción de los adoquines y se encuentra distribuido de la siguiente manera:

- Las etapas de dosificación y preparación se realizan en un área aproximada de 85 m², esto con el objetivo de facilitar el almacenamiento provisional y la preparación inicial de la materia prima.
- Para la etapa del mezclado, se tiene asignado un sitio de aproximadamente 10 metros cuadrados, con el fin de asegurar espacio suficiente para una buena mezcla de los materiales para la fabricación.
- La zona de compactación tiene un área de trabajo de 12 metros cuadrados aproximadamente y en este espacio se lleva a cabo el vibrocompactado de la mezcla para la sintetización de los adoquines.

- Tenemos también un área de desecho de aproximadamente 9 metros cuadrados, donde se gestionan los productos con defectos o no aptos, para proceder a su desecho o reutilización.
- Para la fase de fraguado y curado tenemos un muy buen espacio de 270 metros cuadrados, con el objeto de tener bien organizados los adoquines por medio de pallets para su curación.
- Finalmente, se cuenta con aproximadamente 300 m² destinados a la ubicación de los pallets que contienen los productos terminados, listos para ser almacenados temporalmente y entregados a los clientes. Esta distribución permite un flujo ordenado de materiales y productos a lo largo de todo el proceso productivo, optimizando el espacio y reduciendo tiempos de traslado.

Dentro de la Figura 15 también se puede visualizar el recorrido entre cada una de las operaciones del proceso:

- La distancia estimada desde la preparación de los materiales hasta la dosificación es de aproximadamente 5 metros.
- Desde la dosificación hasta el mezclado son unos 4 metros aproximadamente.
- Del mezclado al compactado y vibrado son 2.3 metros aproximadamente.
- Del compactado y vibrado al área de retiro de adoquines son solo 2 metros.
- La mayor distancia se da entre el proceso de compactado y vibrado hasta el fraguado y curado, con aproximadamente 10 metros.

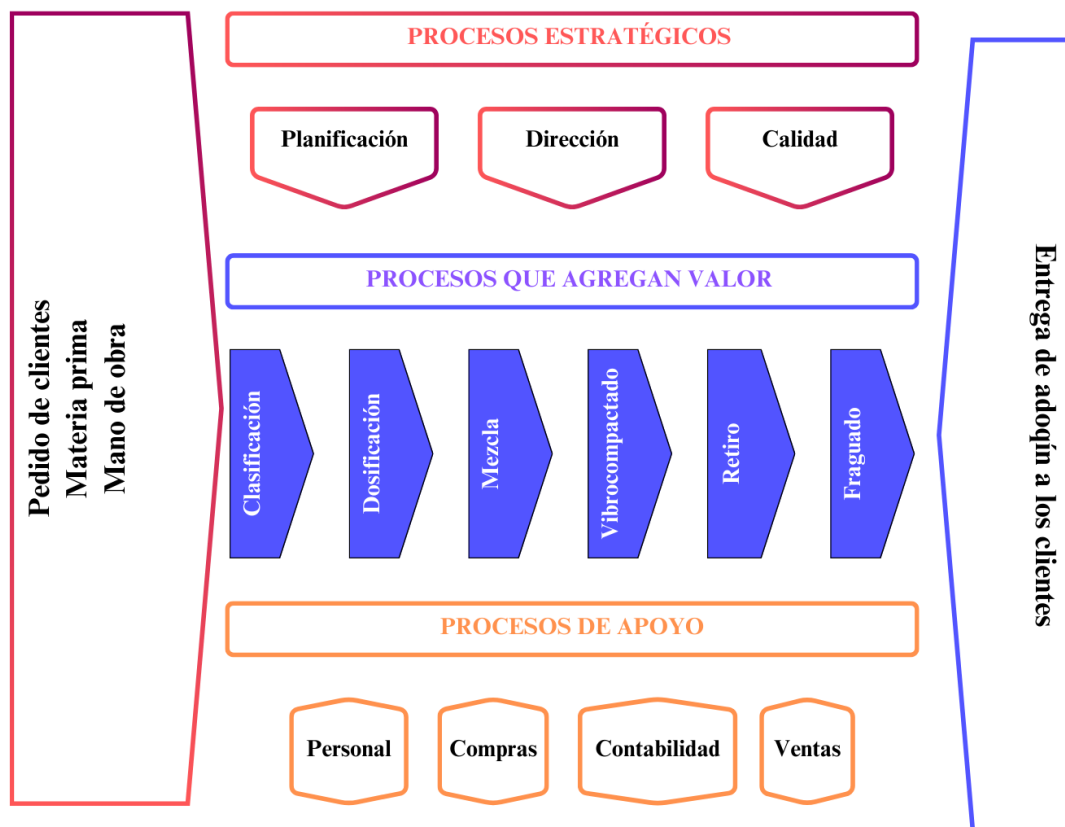
Es levantamiento de información nos ofrece datos importantes para en análisis minucioso de la distribución tanto de tiempos como de movimientos dentro del proceso de producción. Esto nos permite detectar áreas que podrían mejorar significativamente mediante la reestructuración del proceso de trabajo o la disminución de los períodos inactivos. Esto facilita la optimización de recursos y desplazamientos, contribuyendo a una mayor eficiencia operativa, reducción de costos y aumento de la productividad, fortaleciendo así la competitividad de la empresa.

3.1.1.8. Mapa de procesos de la empresa

La empresa GUEFERZA concentra sus esfuerzos en la producción de adoquines de hormigón, actividad que constituye su principal aporte de valor dentro del sector de la construcción. Este enfoque le permite satisfacer una creciente demanda de productos especializados, consolidando su posición como un actor relevante en su mercado. En esta situación específica mencionada anteriormente, las fases del procedimiento de producción integran los procesos en funcionamiento que proporcionan valor, los cuales resultan indispensables para convertir la materia prima en artículos finales, según se especifica en la Figura 16.

Figura 16

Mapa de procesos



El mapa de procesos es muy importante para las empresas ya que brinda la capacidad de ajustarse efectivamente a las demandas de cada proyecto, abarcando tanto los acuerdos arreglados con los clientes como las materias primas necesarias para la producción, con

el fin de adaptarse a las demandas particulares y reforzar la conexión tanto de clientes como del mismo sector de la construcción.

El gerente también tiene una participación fundamental dentro de la empresa, ya que debe establecer metas claras en cuanto a la cantidad de producción necesaria y el cumplimiento de la misma, implementando procesos estratégicos para poder tener una calidad constante y mantener la lealtad de los clientes, consolidando así una ventaja competitiva dentro del mercado. Así es como la compañía garantiza que cada ladrillo fabricado cumple con los estándares requeridos y las expectativas del mercado para demostrar su compromiso con la calidad y la satisfacción de los clientes.

En el marco de las actividades de soporte identificadas se encuentran aquellas tareas clave que si bien no están directamente relacionadas al proceso productivo en sí mismo son fundamentales para el funcionamiento global de la empresa. Se destaca la administración del personal, que está comprendida desde la asignación de las labores hasta la supervisión del personal laboral. También se considera el aprovisionamiento para asegurar la disponibilidad de la materia prima para la fabricación de los adoquines. Asimismo, se debe asegurar el control financiero a través de procesos de registro y el reporte contable para que las cuentas sean transparentes. Finalmente, se resalta el área de ventas, que desempeña un papel crucial al gestionar los pedidos y contratos, siendo esta una actividad indispensable para mantener la continuidad operativa y fortalecer la relación con los clientes, tanto actuales como potenciales.

3.1.1.9. Diagrama de flujo de procesos

El diagrama de flujo de procesos ha sido seleccionado como herramienta principal para el mapeo y análisis del proceso productivo debido a su capacidad para representar de manera clara las etapas clave y flujos de trabajo dentro del proceso, a fin de detectar las posibles falencias y las pérdidas en el procedimiento productivo. Este nos permitirá proponer el modelo de gestión colaborativo con Lean Six Sigma que se encuentre bien fundamentado.

Figura 17

Diagrama de flujo de proceso

Diagrama de flujo de proceso									
Diagrama N° 1		Hoja N° 1/1		Resumen					
Proceso analizado: Fabricación de adoquines de hormigón				Actividad:		Actual			
				Operaciones	●	6			
Etapas: Preparación de material petreo, Dosificación, Mezcla, Vibrocompactación, Retiro y Fraguado				Transporte		➡		5	
				Demoras		D			
Método Actual				Inspecciones		■		3	
Lugar: GUEFERZA - Pintag				Almacenajes		▲			
Operarios: 3				Tiempo (min)		20:00			
Elaborado por: Diego Pilamonte				Distancia (m)		23,10			
Descripción	Cantidad	Distancia (m)	Tiempo (min)	Símbolo					Observaciones
				●	➡	D	■	▲	
Preparación de materiales	440 kg		1:45	○					
Transporte a dosificación		5,00	0:15		○				
Dosificación	240 kg		2:50	○					
Transporte a mezclado		4,00	0:10		○				
Mezclado	440 kg		5:32	○					
Control de la manejabilidad de la mezcla	440 kg	0,00	0:20				○		In situ, visual
Transporte a compactado y vibrado		2,30	0:08		○				
Compactado y vibrado	60 u		3:52	○					
Transporte a retiro de adoquines		2,00	0:08		○				
Retiro de adoquines	60 u		3:00	○					
Transporte a fraguado y curado		9,80	0:30		○				
Control del dimensionamiento	60 u	0,00	0:30				○		In situ, visual
Fraguado y curado	60 u	0,00	0:50	○					
Control del Fraguado	60 u	0,00	0:10				○		In situ, visual

Al representar visualmente los procesos de producción, este esquema es muy importante ya que se alinea con uno de los objetivos Lean, que es la identificación de actividades que no generan valor alguno al proceso. De este modo el diagrama de flujo se ajusta plenamente a los propósitos de Lean Six Sigma al contribuir en la creación de un plan de gestión centrado en la optimización de los procedimientos, la minimización de residuos y el aseguramiento de la excelencia en la producción. Al fusionar ambas metodologías,

se consigue un planteamiento más sólido y perdurable para perfeccionar la eficiencia operativa.

En la Figura 17 se presenta el diagrama de flujo de proceso que describe el proceso productivo de GUEFERZA. Es importante destacar que los tres operarios asignados exclusivamente a este proceso se enfocan en la producción de un total de 24 lotes diarios. Durante el desarrollo del proceso no se identificaron retrasos, traslados adicionales ni tiempos de espera que deban ser considerados o detallados. Aunque el fraguado requiere varios días para completarse, en la etapa denominada “Fraguado y curado” únicamente se incluyó el tiempo y la distancia correspondientes dentro del lote, ya que el seguimiento del fraguado es realizado por un operario distinto.

3.1.1.10. Especificaciones técnicas del producto

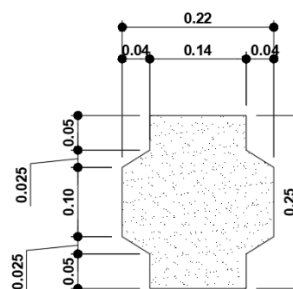
La Tabla 20 detalla las especificaciones de los adoquines, incluyendo sus dimensiones, material (hormigón), resistencia mínima, tolerancias aceptables y otros aspectos técnicos relevantes. La empresa suministró estos datos de manera clara y organizada para que sean fáciles de visualizar y analizar. Es crucial examinar estos datos para asegurar que los adoquines cumplan los estándares requeridos en la construcción.

Tabla 20

Especificaciones técnicas del adoquín

Descripción	Adoquín hexagonal de hormigón (Código CPC 373700017)
Composición	Hormigón
Dimensiones	22.0 cm X 25.0 cm
Características	Gran uniformidad, superficies perfectamente alineadas y paralelas, con una textura suave pero ligeramente rugosa en todas sus caras

Forma



Descripción	Adoquín hexagonal de hormigón (Código CPC 373700017)
Resistencia	Mínima 300 kg/cm ²
Tolerancia	3.0 mm
Norma	NTE INEN 3040
Defectos no aceptables	Tamaño
	Forma
	Dosificación
	Resistencia
	Porosidad
Defectos aceptables	Absorción
	Peso 7.5 – 8.5 kg
	Manejabilidad
	Densidad
	Temperatura

3.1.1.10.1. Verificación del Cumplimiento de Especificaciones Técnicas

Para garantizar que los adoquines hexagonales de hormigón cumplen con la normativa **NTE INEN 3040**, se analizaron los resultados de ensayos realizados en años anteriores. Se evaluaron las principales propiedades del material, incluyendo resistencia a la compresión, absorción de agua, dimensionalidad y tolerancias, comparándolos con los valores mínimos exigidos por la norma. Los datos obtenidos permitieron validar que los adoquines presentan una resistencia mínima de **300 kg/cm²**, una tolerancia dimensional dentro del rango de **±3 mm**, y una absorción de agua acorde con los límites establecidos. Adicionalmente, se corroboró que las muestras analizadas no presentaban defectos inaceptables como excesiva porosidad, mala dosificación o deformaciones. En la Tabla 21 se resume los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio:

Tabla 21*Datos históricos de ensayos*

Año	Muestra	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Dimensiones (cm)	Absorción de Agua (%)	Peso (kg)	Cumple Norma (NTE INEN 3040)
2019	A5	290	21.8 X 24.7	8.5	8.4	✗ No (Resistencia baja)
2020	A4	298	22.2 X 24.8	8.1	8.2	⚠ Límite
2021	A1	320	22.1 X 25.1	6.5	7.8	✓ Sí
2022	A2	310	21.9 X 24.9	7.2	7.9	✓ Sí
2023	A3	305	22.0 X 25.0	7.8	8.0	✓ Sí

Es importante señalar que la empresa realizó seguimiento de muestras solo hasta el año 2023, y además se tomó solo una muestra por año, donde los resultados de las muestras A1 y A2 (2019 y 2020 respectivamente) no cumplieron con los requisitos mínimos, pero las tres muestras de los años subsecuentes si cumplen con los estándares mínimos de calidad, destacando el avance en calidad que ha tenido la empresa.

3.1.2. Recolección de datos cuantitativo

Durante el proceso de recopilación de información, y de acuerdo con el formato descrito en el Anexo 3, se realizaron mediciones de seis lotes en una jornada laboral. En estas mediciones, se documentó el tiempo invertido en cada etapa del proceso, la cantidad de materiales y productos empleados, los defectos detectados (clasificados según su calidad y tipo), así como cualquier incidencia destacable. El trabajador número 3 confirmó que el peso de la materia prima se mantuvo constante en todos los casos examinados mientras supervisaba la producción de adoquines; también estimó el peso de los adoquines producidos al considerar aquellos que tenían defectos relacionados a variaciones en sus dimensiones.

La lista de verificación que figura en el Anexo 3 fue empleada para anotar de manera metódica todos estos datos, incluyendo los tiempos de cada fase del procedimiento en cuestión. Esta herramienta facilitó garantizar un adecuado registro de todos los aspectos

significativos tales como los materiales empleados, el número de productos defectuosos y los incidentes siguiendo un estándar preciso y uniforme. Además, dicha lista de verificación actuó como una herramienta técnica para el control de la producción (TCP) con el objetivo de evaluar la efectividad correspondiente en cada etapa del proceso.

De la Tabla 22 hasta la Tabla 27 se muestran los datos recopilados que se emplearán en la siguiente sección para identificar los problemas y llevar a cabo un análisis de mejora. Este análisis tiene como objetivo incrementar la productividad en el proceso de fabricación de adoquines de la empresa GUEFERZA.

Tabla 22

Observación de lote #1

# de Lote	1	Peso total de materia prima (Kg)		480	Peso total lote (Kg):	479
	Etapas	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo de defecto	Novedades
Datos observados	Preparación de materiales	2:30	480 kg	0		
	Dosificación	3:30	480 kg	0		
	Mezclado	6:30	480 kg	1		Mezcla no homogénea
	Compactado y vibrado	4:30	60 u	2	1 resistencia, 1 tamaño	
	Retiro de adoquines	4:30	60 u	1	1 rotura	
	Fraguado y curado	1:30	60 u	2	1 porosidad, 1 absorción	

Como se evidencia en la Tabla 22, en el lote 1, se utilizó un total de 480 kg de materia prima para un peso final del lote de 479 kg. Durante el proceso productivo, se observaron todas las etapas con los siguientes tiempos específicos: la preparación de materiales tomó 2:30 minutos sin defectos; la dosificación duró 3:30 minutos también sin defectos; y el mezclado, con una duración de 6:30 minutos, Se identificó un problema relacionado a la uniformidad de la mezcla durante el proceso de compactación y vibración que duró 4 minutos y 30 segundos; se detectaron dos fallos en este punto concernientes a la resistencia y al tamaño respectivamente. Posteriormente en la fase de extracción de los adoquines que también tuvo una duración de 4 minutos y 30 segundos se encontró un

defecto debido a una rotura. Finalmente, en la etapa de fraguado y curado que duró 1 minuto y 30 segundos surgieron dos defectos adicionales - uno por porosidad y otro por absorción - lo cual señala áreas clave para mejorar dentro del proceso.

Tabla 23

Observación de lote #3

# de Lote	3	Peso total de materia prima (Kg)		480	Peso total lote (Kg):		476
	Etapas	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo de defecto	Novedades	
Datos observados	Preparación de materiales	3:00	480 kg	0			
	Dosificación	4:00	480 kg	0			
	Mezclado	7:00	480 kg	0			
	Compactado y vibrado	5:00	60 u	4	1 resistencia, 2 forma, 1 tamaño		
	Retiro de adoquines	5:00	60 u	1	1 rotura		
	Fraguado y curado	1:18	60 u	3	2 porosidad, 1 absorción		

En la Tabla 23 se muestran los resultados del lote #3, donde se procesaron 480 kg de materia prima y se obtuvo un peso final de 476 kg de lote. La etapa de preparación de los materiales tuvo una duración de 3:00 minutos, la dosificación duró 4:00 minutos donde no se presentaron defectos. En la etapa de mezclado se tuvo un tiempo de duración de 7:00 minutos donde tampoco hubo inconvenientes. Sin embargo, en la etapa de retiro de adoquines que duró 5 minutos, tenemos una rotura de adoquines. La etapa de compactado y vibrado, donde se demoró 5:00 minutos, hubo cuatro defectos: uno de resistencia; dos de forma; y uno de tamaño. En la etapa de fraguado y curado, que duró 1:18 minutos también tuvimos tres defectos: dos de porosidad; y uno de absorción, destacando la importancia de realizar ajustes pertinentes en estas fases finales del proceso.

Tabla 24*Observación de lote #6*

# de Lote	6	Peso total de materia prima (Kg)		480	Peso total lote (Kg):		479
	Etapas	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo de defecto	Novedades	
Datos observados	Preparación de materiales	3:00	480 kg	1		Mezcla mal dosificada	
	Dosificación	3:30	480 kg	0			
	Mezclado	7:00	480 kg	1		Mezcla no homogénea	
	Compactado y vibrado	5:00	60 u	3	1 resistencia, 2 tamaño		
	Retiro de adoquines	4:30	60 u	2	2 rotura		
	Fraguado y curado	1:05	60 u	2	1 porosidad, 1 absorción		

Las observaciones descritas en la Tabla 24 para el lote 6 revelan que fueron procesados 480 kilogramos de materia prima y el peso final del lote fue de 479 kg. Durante la etapa de preparación de materiales que duró 3 minutos exactos surgió un problema relacionado a una mezcla mal dosificada. La dosificación tomó 3 minutos y medio y no tuvo contratiempos. Sin embargo, durante el mezclado que llevó 7 minutos apareció un problema derivado de una mezcla no uniforme. Durante la etapa de compactación y vibración que duró 5 minutos exactos se identificaron tres problemas; uno relacionado a la resistencia y dos vinculados al tamaño de los adoquines utilizados en el proyecto en cuestión. En cuanto a la extracción de adoquines realizada en 4 min y 30 segundos se observaron dos inconvenientes derivados de roturas inesperadas. Finalmente, durante el proceso de fraguado y curado que duró un minuto y cinco segundos se hallaron dos deficiencias adicionales; una debida a porosidad y otra por exceso de absorción lo cual subraya la necesidad imperante de incrementar el control en estas fases críticas del procedimiento.

Tabla 25*Observación de lote #8*

# de Lote	8	Peso total de materia prima (Kg)		480	Peso total lote (Kg):	477
	Etapas	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo de defecto	Novedades
Datos observados	Preparación de materiales	2:30	480 kg	1		Mezcla mal dosificada
	Dosificación	3:30	480 kg	0		
	Mezclado	6:30	480 kg	0		
	Compactado y vibrado	5:30	60 u	2	1 resistencia, 1 tamaño	
	Retiro de adoquines	4:30	60 u	2	2 rotura	
	Fraguado y curado	1:15	60 u	1	1 porosidad	

Como se puede observar en la Tabla 25, en el lote 8 se procesaron 480 kg de materia prima, obteniendo un peso final del lote de 477 kg. Durante la etapa de preparación de materiales, que tomó 2:30 minutos, se identificó un defecto relacionado con una mezcla mal dosificada. Por otro lado, la dosificación y el mezclado, con duraciones de 3:30 y 6:30 minutos respectivamente, no presentaron defectos. En la etapa de compactado y vibrado, que duró 5:30 minutos, se detectaron dos defectos: uno relacionado con la resistencia y otro con el tamaño de los adoquines. Posteriormente, en el retiro de adoquines, realizado en 4:30 minutos, se registraron dos defectos por rotura. Finalmente, durante el fraguado y curado, con una duración de 1:15 minutos, se identificó un defecto por porosidad. Estos hallazgos destacan áreas específicas donde es necesario reforzar los controles de calidad en el proceso productivo.

Tabla 26*Observación de lote #10*

# de Lote	10	Peso total de materia prima (Kg)		480	Peso total lote (Kg):	475
	Etapas	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo de defecto	Novedades
Datos observados	Preparación de materiales	3:00	480 kg	0		
	Dosificación	4:00	480 kg	1		Mezcla mal dosificada
	Mezclado	7:00	480 kg	1		Mezcla no homogénea
	Compactado y vibrado	4:30	60 u	3	2 resistencia, 1 tamaño	
	Retiro de adoquines	5:00	60 u	1	1 rotura	
	Fraguado y curado	1:19	60 u	2	1 porosidad, 1 absorción	

En la Tabla 26 se detalla que, en el lote 10, se procesaron 480 kg de materia prima, obteniendo un peso final de 475 kg. La etapa de preparación duró 3:00 minutos y no se detectaron defectos algunos. Sin embargo, en la etapa de dosificación, cuyo tiempo de duración fue de 4:00 minutos, hubo un problema de mala dosificación de la mezcla. Durante la etapa de mezclado, se demoró 7:00 minutos, también hubo inconvenientes en la homogeneidad de la mezcla. Compactado y vibrado que se desarrolló en 4:30 minutos tuvo tres fallos: dos relacionados con resistencia; y uno por tamaño. Posteriormente, durante el retiro de adoquines, que duró 5:00 minutos, se identificó un defecto por rotura. Finalmente, en la fase de fraguado y curado, que tomó 1:19 minutos, se registraron dos defectos, uno por porosidad y otro por absorción. Estos datos resaltan la necesidad de fortalecer las etapas de dosificación, mezclado y compactado para mejorar la calidad del producto final.

Tabla 27*Observación de lote #13*

# de Lote	13	Peso total de materia prima (Kg)		480	Peso total lote (Kg):	479
	Etapas	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo de defecto	Novedades
Datos observados	Preparación de materiales	3:00	480 kg	0		
	Dosificación	4:30	480 kg	1		Mezcla mal dosificada
	Mezclado	7:30	480 kg	0		
	Compactado y vibrado	5:00	60 u	2	1 resistencia, 1 tamaño	
	Retiro de adoquines	4:30	60 u	2	2 rotura	
	Fraguado y curado	1:14	60 u	1	1 porosidad	

Finalmente, en la Tabla 27 aparece que en el lote 13 fueron utilizados 480 kg de materia prima resultando en un peso final de 479 kg sin defectos detectados durante la preparación de los materiales que duró 3 minutos y ninguna complicación durante la dosificación que llevó 4 minutos y medio a excepción de un error debido a una mezcla mal dosificada identificado durante ese proceso. Sin embargo, en la etapa de compactación y vibración que duró 5 minutos se encontraron dos problemas; uno relacionado a la resistencia y otro al tamaño de los adoquines detectándose durante la extracción de los mismos que tomó 4 minutos y medio otros dos defectos asociados a roturas. Por último, en el proceso de fraguado y curado que tuvo una duración de 1 minuto y 14 segundos se identificó un defecto debido a la porosidad. Estos hallazgos resaltan la relevancia de calibrar y mejorar las fases de dosificación y compresión para reducir fallos en el producto terminado.

Durante las conversaciones mantenidas en la entrevista de producción se abordó el manejo de los productos defectuosos por parte de la empresa en lugar de descartarlos directamente; se optó por diversas alternativas según el tipo de error presente en dichos productos defectuosos: algunos son vendidos a los proveedores mientras que otros son reutilizados dentro de la empresa o procesados nuevamente para su posterior uso en situaciones más extremas; esta práctica fue confirmada durante las observaciones

realizadas al constatarse que no se desechaban los productos imperfectos, o en su defecto eran utilizados dentro de la misma empresa para distintos usos.

A lo largo de este apartado, se observó que la falta de un proceso definido ha generado variabilidad en la producción, manifestada en defectos de forma, tamaño, resistencia. Estos desafíos subrayan la importancia inmediata de implementar un enfoque metodológico bien definido similar al propuesto por la metodología Lean Six Sigma que se discutirá en la siguiente sección.

3.2. Propuesta de Implementación

La presente propuesta se enfoca en mejorar el proceso de fabricación de adoquines en la compañía GUEFERZA para aumentar la eficiencia en la producción. Para alcanzar este objetivo se aplicarán los 5 elementos de la metodología Lean Six Sigma DMAIC en las 6 etapas del proceso de manufactura a fin de mejorar la eficiencia y disminuir las variabilidades en los resultados. Este enfoque está diseñado para asegurar que la empresa logre una producción más constante y de mejor calidad. Como se ilustra en la Figura 12 presentada en el capítulo 2 del presente documento, en primer lugar, se identificarán de manera precisa los problemas más relevantes en el proceso de producción, enfocándose en aquellos que requieren acciones inmediatas para optimizar la productividad. Luego se presentarán los resultados obtenidos de los lotes evaluado y se identificarán los principales problemas, con el fin de plantear soluciones adecuadas. Por último, se presentarán las sugerencias necesarias para alcanzar los resultados esperados y buscar el aumento de los ingresos de la empresa.

3.2.1. Desarrollo de los componentes de propuesta

Se va a proceder a abordar los cinco elementos de la metodología DMAIC aplicados al proceso de producción de adoquines en la compañía GUEFERZA utilizando la información recopilada en la sección previa. Este análisis tiene como finalidad establecer un método organizado para identificar y solucionar las dificultades detectadas buscando mejorar tanto la eficiencia como la calidad del producto.

3.2.1.1. Definir (D)

En esta etapa, se recopiló la información sobre el proceso de producción. Con base a la información obtenida, se logró delimitar el principal problema, esto con la finalidad de

establecer los aspectos clave que deben ser abordados y estructurar una carta de proyecto que sirva como marco inicial y guía de acciones para comenzar a optimizar el proceso de fabricación.

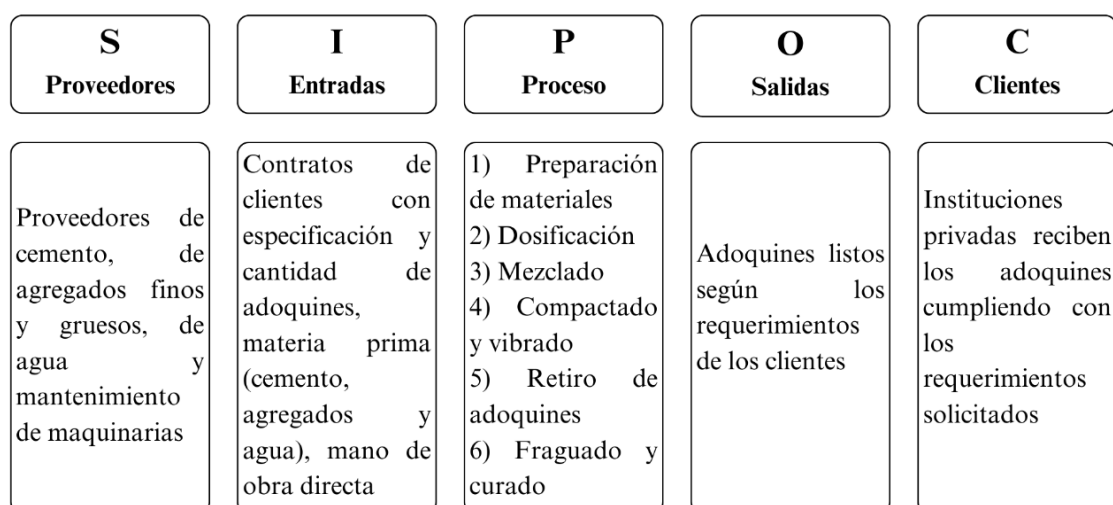
Diagrama SIPOC

De acuerdo con lo representado en la Figura 18, los principales proveedores en el proceso incluyen, en primer lugar, a los clientes que establecen contratos para el suministro de adoquines. Además, se consideró como proveedores a aquellos que suministran la materia prima utilizada en la fabricación del producto y a los encargados del mantenimiento de las máquinas que utiliza la empresa GUEFERZA en su proceso productivo. En las entradas podemos identificar los contratos con los clientes, donde se puede especificar las cantidades de adoquines, la materia necesaria para la fabricación de los adoquines, además de su mano de obra directa.

Cabe mencionar que, el control y la gestión de los proveedores es crucial para garantizar calidad y cumplimientos de los plazos determinados en los contratos. Tanto proveedores de materiales, transportistas y personal encargado de la distribución de la materia prima, representan un impacto directo a la eficiencia del proceso productivo, por lo tanto, se debe manejar adecuadamente las relaciones con todos estos proveedores para asegurar la fluidez en el proceso de fabricación.

Figura 18

Diagrama SIPOC



Nota: Adaptado de Pérez-Domínguez et al. (2020)

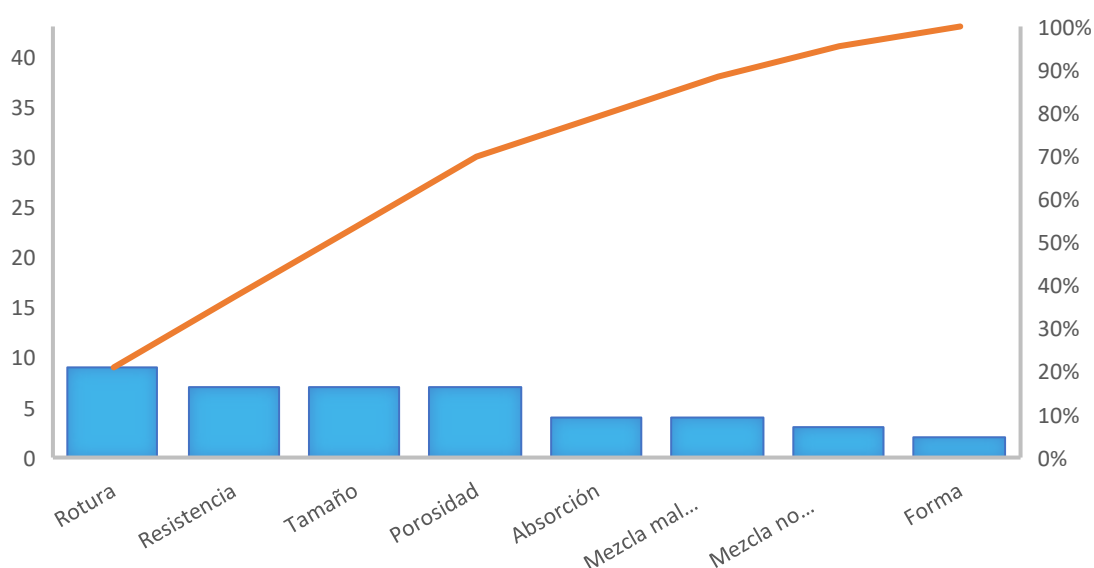
El proceso de producción implementado por GUEFERZA consta de seis etapas clave diseñadas para asegurar que los adoquines fabricados cumplan los requisitos exigidos por los clientes finales. Estas fases están enfocadas en convertir la materia prima en productos terminados que satisfagan los estándares de calidad y las especificaciones acordadas previamente. Al finalizar el procedimiento de fabricación se entregan los adoquines a los clientes principales que suelen ser empresas privadas, estos adquieren el producto únicamente si cumple las características técnicas y de calidad establecido en los contratos correspondientes. Este enfoque asegura no solo la conformidad del producto con las expectativas del cliente, sino también la competitividad de la empresa en el mercado.

Identificación de las etapas críticas del proceso

La identificación de las etapas críticas en el proceso de fabricación se basó en la información recopilada durante las observaciones de seis lotes de producción, cuyos detalles se encuentran documentados en las tablas presentadas en el Anexo 4. En la Figura 19 se puede identificar patrones claros de las zonas con mayores problemas. Este análisis es un punto de partida para entender las principales fallas de este sistema, con la finalidad de priorizar las etapas más críticas optimizando eficientemente el proceso productivo y obteniendo adoquines de mayor calidad.

Figura 19

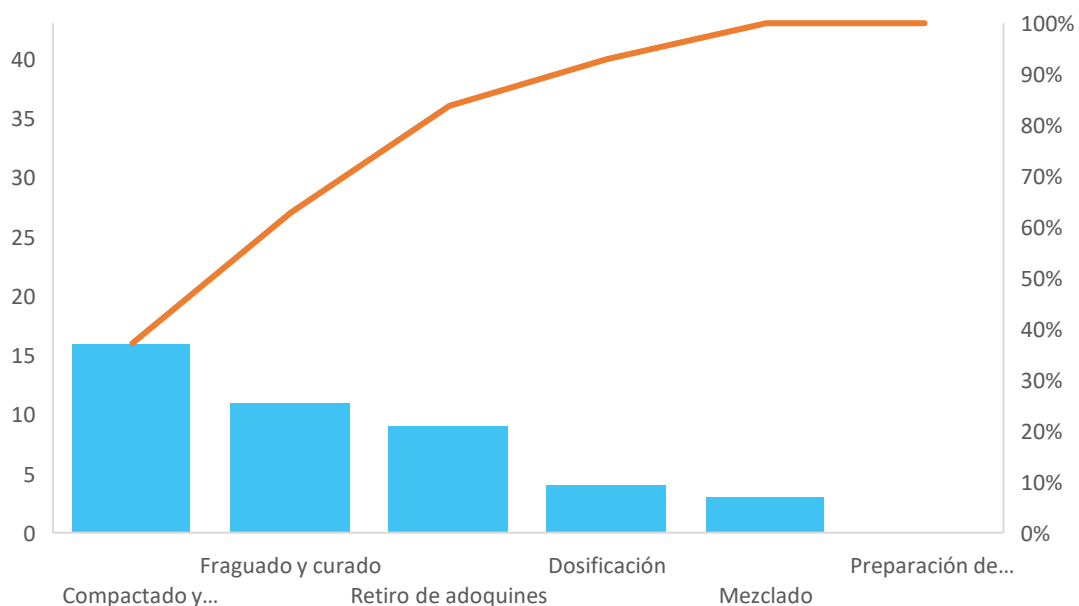
Diagrama de Pareto de los diferentes defectos del proceso



De los ocho posibles defectos identificados en las observaciones realizadas a los lotes de producción, se determinó que los más frecuentes son rotura (20.93%), resistencia (16.28%), tamaño (16.28%) y porosidad (16.28%), los cuales, en conjunto, representan el 69.77% del total de errores registrados. Al incluir también los defectos relacionados con absorción (9.30%) y mezcla mal dosificada (9.30%), el porcentaje acumulado asciende al 88.37%. Esto indica que la mayoría de las fallas en la producción de los adoquines se concentra en estas seis categorías principales: rotura, resistencia, tamaño, porosidad, absorción y mezcla mal dosificada. Estos resultados destacan la importancia de centrar los esfuerzos de mejora del proceso en estos aspectos críticos para aumentar la calidad del producto final y reducir la incidencia de defectos.

Figura 20

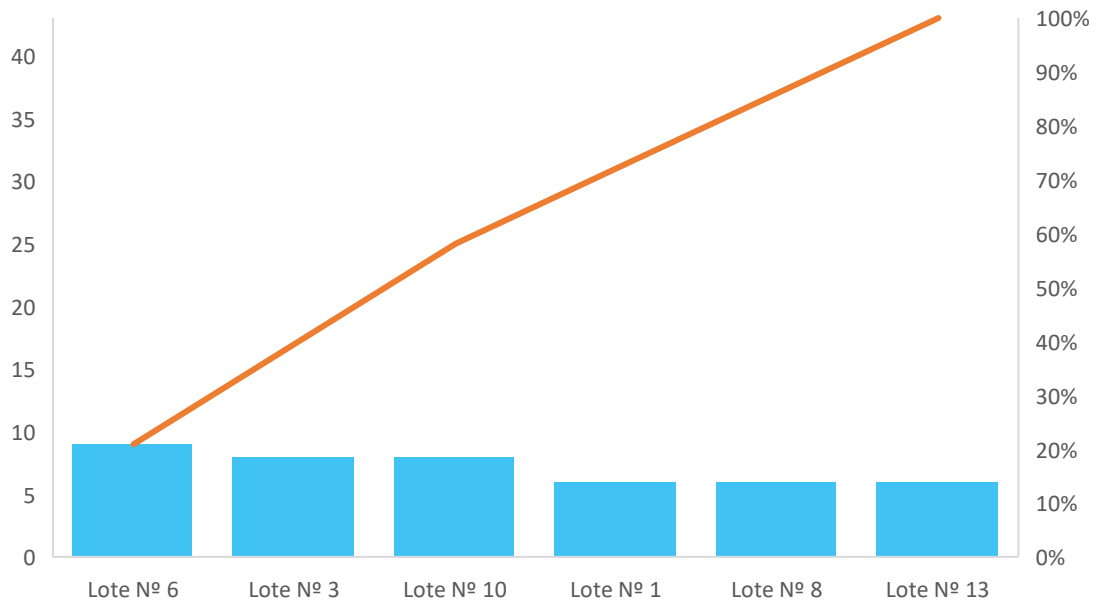
Diagrama de Pareto de los defectos de cada etapa de proceso



En la Figura 20 se pueden visualizar los defectos totales en cada fase del proceso de fabricación de adoquines, esto nos ayuda a identificar las etapas más críticas de manera efectiva. En esta representación visual se aprecia que hay tres fases con cantidad de fallos reportados. La fase que presenta el mayor número de defectos es la de vibrado y compactado (37,21%). Le siguen el fraguado y curado (25,58%) y posteriormente el retiro de adoquines (20,93%). La fase de preparación de materiales no presenta errores, por lo tanto, se debe hacer énfasis en minimizar las fallas en las tres etapas anterior nombradas.

Figura 21

Diagrama de Pareto de los defectos por cada lote observado

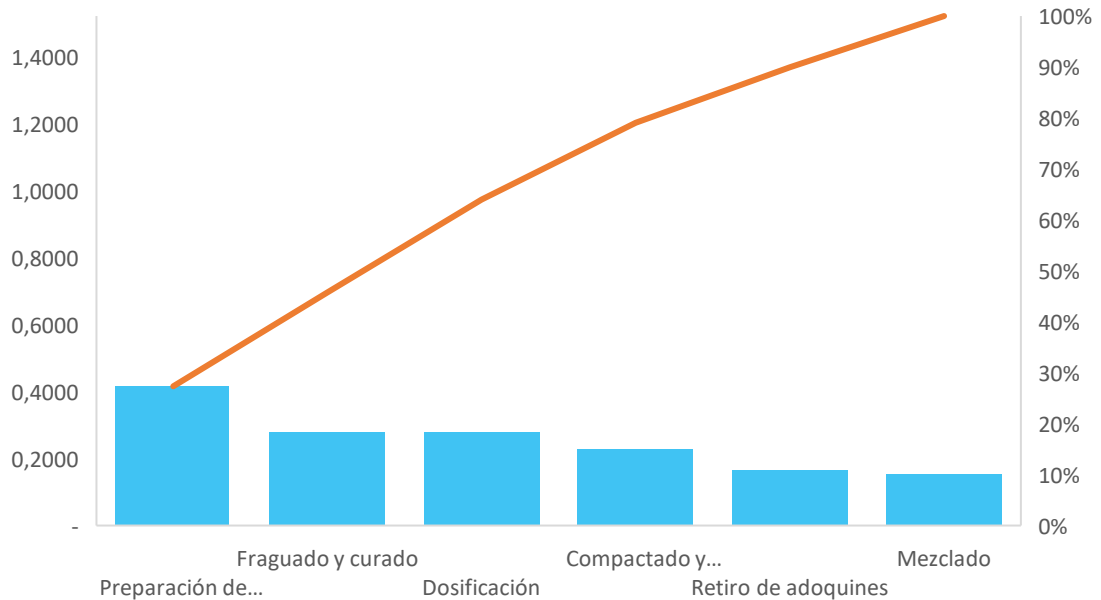


La Figura 21 presenta un diagrama que muestra la cantidad de defectos identificados en cada lote observado. Este análisis permite constatar que, si bien los lotes Nº6 (20.93%) y Nº3 (18.60%) concentran el 39.53% de los defectos, equivalente a un poco más de un tercio de las observaciones, no se detecta un lote en particular con un número excesivamente elevado de defectos. Se puede ver que los errores están distribuidos de manera muy uniforme en los lotes tomados para el análisis. Cabe mencionar que estos lotes fueron seleccionados de manera aleatoria y no consecutiva, con la finalidad de evitar fallos en el levantamiento de información asociado a disminución del desempeño de los empleados.

Además de eso se ha recopilado información que incluye los tiempos reales dedicados a cada fase del proceso de fabricación; estos datos se detallan desde la Tabla 22 hasta la Tabla 27 en el presente informe. Utilizando esta información se han creado gráficos y tablas que se presentan en el Anexo 5 y en las figuras siguientes para ofrecer un análisis más detallado y visualmente comprensible del comportamiento del proceso.

Figura 22

Diagrama de Pareto de excedentes de tiempo por cada etapa de proceso

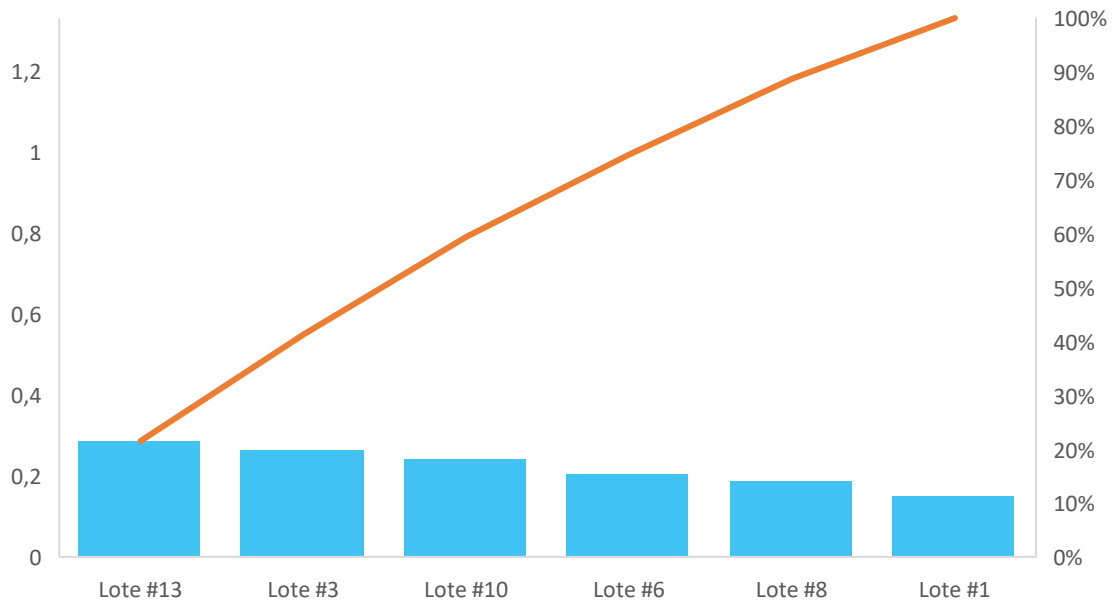


La información presentada en la Figura 22 indica que la etapa de preparación de materiales es la que presenta el mayor retraso en comparación al estándar establecido, representa el 27.35 % del total de los retrasos y se convierte en una actividad crítica dentro del proceso. Le sigue la etapa de fraguado y curado, que representa un 18.41% del total de los excedentes de tiempo. Otras etapas relevantes por sus porcentajes de desfase incluyen la dosificación, con un 18.23%, y la compactación y vibrado, con un 15.04%.

Cuando se combina esta información con el análisis de generación de defectos en la fabricación de adoquines se identifican como actividades críticas del proceso las siguientes: compactación y vibrado, fraguado y curado, retiro de adoquines y preparación de materiales. Este análisis conjunto resalta las áreas clave que deben ser optimizadas para mejorar la eficiencia y la calidad del proceso productivo.

Figura 23

Diagrama de Pareto de excedentes de tiempo por cada lote observado



La Figura 23 muestra los resultados de los lotes #13 (21,49%), #3 (19,86%) y #10 (18,05%), donde se presentan porcentajes más altos en cuanto a aumento de tiempo en comparación con el tiempo establecido. Lo que confirma que hay una clara tendencia de incremento de retraso en la producción conforme va avanzado el día.

Hay que notar que, el lote #13 es el que tiene el mayor retraso de tiempo, pero este lote muestra una cantidad relativamente baja de defectos de producción. En contraste, el lote #3 es el segundo lote que cuenta tanto con retraso de tiempo como en cantidad de defectos encontrados, por lo que estos hallazgos nos sugieren que no hay una tendencia entre el tiempo de producción y el número de defectos en los adoquines.

Por lo tanto, se ve la importancia de no solo analizar el tiempo del proceso sino también la interacción que hay entre los retrasos de tiempo y la calidad del producto, ya que con esta comprensión se pueden detectar las principales razones que producen las fallas en el producto con el fin de tomar decisiones con fundamento que ayuden a la eficiencia y a obtener productos de mejor calidad.

Definición del problema

La definición del problema se realiza analizando los defectos y novedades en el proceso de producción haciendo uso de los datos recopilados de dicho proceso, con el fin de

determinar las necesidades a ser abordadas se identificaron dos aspectos fundamentales que son: potenciar la eficiencia; y generar una buena calidad del procedimiento de fabricación.

El primer punto a considerar son las fallas de los adoquines. Se pudo observar que hay una cantidad muy considerable de adoquines con fallas, por lo tanto, es necesario tomar acciones con respecto a estas unidades defectuosas. Conversando con los operarios y el gerente de la empresa, supieron manifestar que, aquellas unidades defectuosas cuyos rangos de falla están entre los rangos mínimos establecidos son aceptados para su uso, mientras que los adoquines con fallas mayores y fuera del rango mínimo admisible pasan por un proceso de destrucción y reprocesamiento.

Dentro del contexto de esta investigación, este punto tratado es muy importante ya que las imperfecciones en los adoquines disminuyen la cantidad de unidades a ser entregadas. Esto afecta directamente los ingresos de la empresa, por lo cual hay que entender las razones que hay detrás de estos fallos con la finalidad de reducirlos y mejorar las cantidades útiles de adoquines generando así beneficios económicos para la empresa.

El segundo aspecto a considerar es la duración que tienen las fases del proceso. Todos los lotes sobrepasan el tiempo estándar establecido. Este prolongado tiempo incide negativamente en la eficiencia al limitar la cantidad total de lotes completados en una jornada laboral. Al minimizar estos excesos temporales se lograría aumentar la producción permitiendo fabricar un mayor número de unidades y así incrementar las ganancias potenciales para la compañía.

Al final se concluyó que las fases clave del procedimiento son la compactación y vibración, el fraguado y curado y el retiro de adoquines. Estas fases del procedimiento son las que presentan tanto un aumento de tiempo como un gran número de defectos, por lo que es considerable hacer énfasis en establecer las estrategias óptimas en estas etapas con el fin de asegurar que se cumplan adecuadamente sin comprometer la calidad del producto final y mejorando el tiempo del ciclo productivo.

Carta del proyecto

A partir de los aspectos identificados en esta etapa inicial de la propuesta, que corresponde al primer paso del ciclo DMAIC y está alineada con los elementos generales descritos en la introducción, se ha elaborado una carta del proyecto, la cual se presenta en la Tabla 28. Esta carta de proyecto presenta los aspectos fundamentales del análisis y describe de

forma detallada el problema identificado junto a los objetivos planteados en un alcance definido, también se mencionan las actividades a realizar y los recursos necesarios para lograrlo de manera eficiente y efectiva y finalmente se incluyen los resultados esperados y las partes interesadas involucradas en el proceso para brindar una orientación estratégica durante la implementación de la metodología. La carta funciona como una guía para organizar las medidas requeridas y definir qué aspectos serán mejorados, además de cómo se llevarán a cabo los cambios y por qué se realizarán, todo esto orientado hacia la optimización de la calidad y la reducción de los tiempos en la producción de adoquines para garantizar una base sólida para las fases posteriores del ciclo DMAIC.

Tabla 28

Carta del proyecto

Nombre del proyecto	Propuesta de implementación de Modelo de gestión colaborativo con Lean Construction (DMAIC Six Sigma)
Responsable del proyecto	Jefe de producción
Problema identificado	Se detectó que en todos los lotes de producción analizados existieron unidades con defectos de fabricación. Adicionalmente, se observó que todos los lotes el proceso excede los tiempos estándar definidos para la fabricación de adoquines.
Objetivo del proyecto	Reducir el número de unidades defectuosas y acortar el tiempo real requerido para finalizar el proceso de manufactura.
Alcance	Establecer un enfoque para aplicar la metodología DMAIC en la producción de ladrillos decorativos mediante la definición de directrices precisas para cada fase.
Actividades	Desarrollar acciones particulares en las etapas: Analizar (A), Mejorar (I) y Controlar (C) de la metodología DMAIC.
Recursos	Proponer los medios (recursos) requeridos para la fase de Mejora (Fase I), después de llevar a cabo las observaciones de las razones que provocan los contratiempos.

Nombre del proyecto	Propuesta de implementación de Modelo de gestión colaborativo con Lean Construction (DMAIC Six Sigma)
Entregables	Un manual que funcione como referencia para aplicar la metodología DMAIC en la producción de adoquines de la empresa.
Partes involucradas	Responsables del proyecto empresarial junto a sus propietarios y administradores junto a los empleados.
Amenazas del proyecto	La mayor preocupación radica en que los dueños de GUEFERZA no consideren esta propuesta como una prioridad para impulsar la productividad y por lo tanto opten por no llevarla a cabo.
Tiempo del proyecto	Se estima que se requerirá un mes para la planificación inicial y al menos tres meses para analizar los resultados después de llevar a cabo las acciones recomendadas.

3.2.1.1.2. Medir (M)

Como su nombre lo indica, esta segunda fase de la metodología DMAIC se encarga de medir los datos recolectados con la finalidad de obtener un buen fundamento para pasar a la siguiente etapa del ciclo DMAIC. En esta investigación, se pretende estructurar y verificar los datos requeridos para calcular el nivel Six Sigma de manera muy precisa en la siguiente fase del ciclo DMAIC con la finalidad de tener datos fiables y bien fundamentados para la toma de decisiones necesarias para la optimización del sistema productivo de los adoquines.

Selección de los aspectos a medir

A partir del problema identificado en la etapa Definir (D) del ciclo DMAIC, se pudieron identificar dos aspectos claves que requieren atención en esta investigación debido al impacto directo que tienen en la eficiencia de la empresa. Estos aspectos son: la cantidad de unidades con defectos por cada lote; y el tiempo real empleado para realizar el proceso de producción de los adoquines en contraste con el tiempo establecido.

Por un lado, una mayor proporción de unidades defectuosas disminuye la cantidad de productos listos para la venta lo cual afectará los ingresos de la empresa. Por otro lado, los excesos en el tiempo de producción limitan la posibilidad de fabricar lotes adicionales

durante el mismo día laboral es por eso que medir y analizar estos aspectos permitirá identificar áreas clave para optimizar y así mejorar la eficiencia operativa aumentando tanto la producción de adoquines como los beneficios económicos obtenidos al comercializarlos.

Recopilación de datos

Para recopilar los datos del proceso productivo, se adaptó un formulario específico a las necesidades de esta investigación detallado en el Anexo 3 del presente documento. Los campos del formulario registran: tiempos de procesos; defectos; y novedades que se presenten durante la ejecución del proceso de fabricación, tomando como muestra seis lotes seleccionados aleatoriamente y de manera no consecutiva. Esto permitió capturar resultados independientes de factores como el cansancio de los trabajadores o las variaciones climáticas que podrían influir en los lotes producidos en diferentes momentos del día. Los datos recopilados se presentan en las Tabla 22 a la Tabla 27 del capítulo de resultados, mientras que la información consolidada sobre los defectos observados y los tiempos de producción se encuentra en los Anexos 4 y 5, respectivamente. Este método busca organizar y examinar de forma más precisa los aspectos fundamentales del proceso de producción, lo que facilita la detección de oportunidades de mejora y contribuye a una evaluación completa de los desafíos presentes.

Defectos más relevantes

Según los datos presentados en el Anexo 4 y observando la Figura 19, se puede apreciar que hay tres fallos principales destacados que son la rotura, resistencia y forma, los cuales abarcan más de la mitad de los defectos detectados en los seis lotes analizados. De acuerdo a lo expuesto en la Tabla 20, estas tres categorías de errores no son aceptables lo cual deriva en una disminución efectiva en la producción de la empresa y afectando directamente su eficiencia productiva.

De la misma forma, la Figura 20 señala como momentos clave del proceso a la compactación y vibración, el fraguado y curado, además del retiro de adoquines, concentrando estas acciones más del 80% de los errores totales registrados. Este descubrimiento subraya la importancia de mejorar dichos procesos para disminuir las deficiencias detectadas.

Por otro lado, cuando examinamos la Figura 21, que ilustra la distribución de fallos por lote se aprecia que el lote número 6 muestra el mayor número de imperfecciones

equivalente al 21 % del total de las observaciones. No obstante en cuanto a los fallos por lotes durante la jornada laboral no se percibió un incremento progresivo en la aparición de errores.

Según el Anexo 4 en su conjunto se encontraron 43 fallas en una producción de 60 adoquines por partida; lo que da un total de 360 unidades examinadas. Esto equivale a un promedio del 11.94% de la producción que no cumple con los estándares establecidos y, por tanto, no es comercializable. Aunque algunos adoquines defectuosos se reutilizan internamente o se reprocesan en lotes posteriores, para efectos de esta propuesta se considera que todos los errores constituyen desperfectos que impactan negativamente en la productividad general de la empresa.

Tiempo del proceso de producción

El segundo problema identificado en las observaciones realizadas está relacionado con la duración del proceso de producción en la empresa GUEFERZA, el cual, según el equipo de trabajo, debería completarse en 20 minutos. Sin embargo, según lo presentado en la Figura 22 tres fases del proceso muestran los mayores retrasos en tiempo registrado. Por ejemplo, la etapa de preparación de los materiales que debería durar 2 minutos alcanzó un máximo tiempo registrado de 3 minutos, representando así un aumento del 50%, el tiempo promedio de esta etapa en las seis medidas superó en un 41.67% al tiempo estándar establecido. La etapa de fraguado y curado en el lote #2 también tuvo una duración similar a la de preparación de materiales, excediendo así en un 50% del tiempo establecido.

En la Figura 23 se puede ver que, la producción del lote #13 demandó más tiempo que el resto de los lotes, con un total de 25:44 minutos llegó a tener un incremento del 28.67% con respecto al tiempo establecido. En contraste, el lote #1 destacó por sobre los demás al completarse en 23:00 minutos, con un incremento de solo el 15%, pasó a ser el lote con mejor tiempo establecido. Aunque tenemos un buen tiempo en el lote #1, ningún lote pudo completarse en el periodo establecido de 20:00 minutos.

Mediante la recopilación de los datos del tiempo promedio de todos los lotes analizados presentado en el Anexo 5 del presente documento, se observó que ningún lote se pudo completar en el tiempo estándar establecido. En promedio, el tiempo real registrado durante las seis observaciones fue de 24 minutos y 26 segundos, lo que representa un incremento del 22.24% respecto al tiempo estimado como estándar para el proceso.

Medición del nivel Six Sigma

Basándose en la información recopilada sobre las unidades defectuosas encontradas en cada lote, se llevó a cabo la aplicación de las fórmulas para determinar el número de Defectos por unidad (DPU sigla en inglés de Defects Per Unit), así como los defectos por millón de oportunidades (DPMO sigla en inglés de Defects Per Million Opportunities), detalladas en la sección correspondiente del marco teórico titulado “Aplicación del DMAIC Six Sigma”.

$$DPU = \frac{d}{UL} * 100 \quad (1)$$

En donde:

DPU = Defectos por unidad

D = número de defectos, que en caso observado fue de 43

UL = unidades por lote, que en caso observado fue de un total de 360 (60 por cada lote observado)

Al reemplazar los datos, se tiene que:

$$DPU = \frac{43}{360} * 100 \quad (3)$$

$$DPU = 11.94\% \quad (4)$$

Significa que el índice de rendimiento para la situación actual en el proceso de fabricación es de 11.94%.

Así también se aplicó la fórmula del DPMO:

$$DPMO = \frac{d}{U * O} * 1'.000.000 \quad (2)$$

En donde:

DPMO = Defectos por millón de oportunidades

d = número de defectos, que en caso observado fue de 43

U = unidades, que en caso observado fue de un total de 360 (60 por cada lote observado)

O = oportunidades de mejora, que en este caso es de 6, ya que corresponde a cada etapa del proceso de fabricación, en la que se analizaron los datos.

Al reemplazar estos datos, tenemos lo siguiente:

$$DPMO = \frac{43}{360 * 6} * 1'.000.000 \quad (5)$$

$$DPMO = 19.907,41 \quad (6)$$

Si se analiza esta cifra, en los niveles de Six Sigma que se presentaron en la Tabla 10, se tendría que de mantenerse en los niveles de 3 y 4, ha mejorado en rendimiento como se observa en la Tabla 29.

Tabla 29

Nivel Six Sigma de la propuesta

Nivel de σ (sigma)	Partes por millón	Eficiencia	Defectos por 100
6	3,4	99,99 %	0,00034
5	233,0	99,98 %	0,023
4	6.210,0	99,30 %	0,621
Calculado actual	19.907	97.94 %	1.991
3	66.807,0	93,30 %	6,68
2	308.537,0	69,15 %	30,8
1	690.000,00	30,85 %	69

En resumen, y evaluando el desempeño actual de la empresa se sitúa en un 97.94%, lo que sugiere que aunque el rendimiento es elevado aún queda espacio para introducir mejoras que permitan aproximarse más al estándar de Six Sigma. Lograr este nivel garantizaría una calidad óptima en la producción de adoquines, asegurando que todos los lotes cumplan consistentemente con los estándares establecidos y minimizando defectos que impacten negativamente en la productividad y rentabilidad de la empresa.

3.2.1.1.3. Analizar (A)

En esta tercera etapa de la metodología DMAIC, el objetivo principal es examinar los aspectos identificados y los datos recopilados en las etapas anteriores para determinar las posibles causas que originan los problemas detectados en el proceso. Este análisis es esencial para planificar y ejecutar medidas correctivas en la etapa siguiente que conduzcan a una mejora efectiva y duradera en la situación identificada. Para llevarlo a cabo se utilizaron herramientas clave como el diagrama de espina de pescado para visualizar los factores contribuyentes y la matriz de análisis de modos de falla y efectos (AMFE) para priorizar y evaluar el impacto de los potenciales errores en el sistema. Estas herramientas trabajan juntas para brindar una aproximación completa a analizar el origen de los problemas y establecer los pilares de una estrategia de mejora adecuada.

Diagrama de Ishikawa tipo 6M

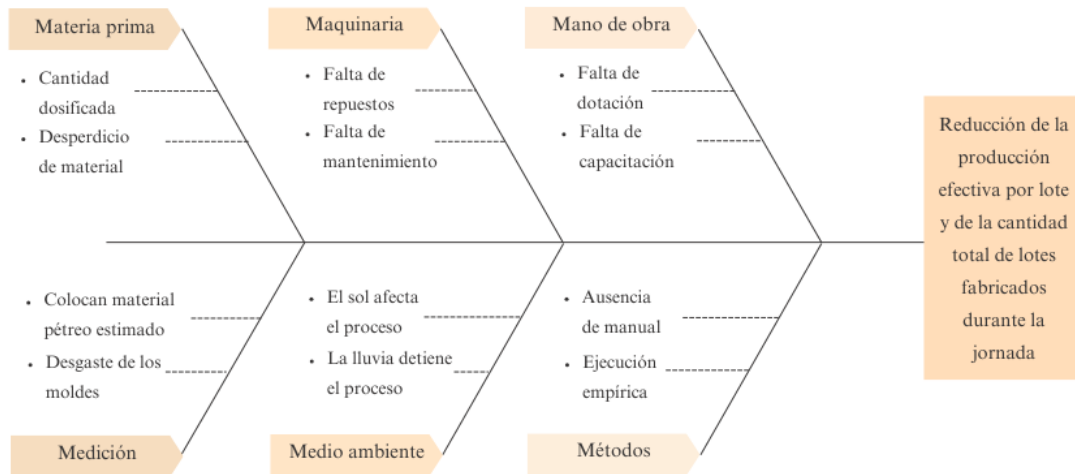
El enfoque de las 6M categoriza las posibles causas en seis grupos diferentes: métodos de trabajo empleados mano de obra utilizada materiales involucrados maquinaria empleada medición realizada y entorno en el que se desarrollan las actividades pertinentes a la producción. Cada uno de estos elementos ejerce una influencia significativa en el proceso y la calidad del producto final como resultado es común encontrar que la raíz de un problema está vinculada a algún aspecto dentro de estas áreas determinadas. La pregunta clave a plantearse sería entonces ¿cuál aspecto de entre los factores asociados a las 6M está incidiendo directamente sobre la cuestión problemática?

Primer nivel

El análisis inicial en el esquema de causa y efectos, también llamado “nivel general”, apunta a identificar las causas principales que contribuyen al problema en cuestión. Primero se clasifican las posibles razones en seis grandes categorías relacionadas a los seis elementos básicos del proceso de producción que son: métodos; mano de obra; materiales; maquinaria; medición; y medio ambiente con el fin de determinar los factores que pueden estar generando variabilidad y deficiencias en el proceso, estableciendo así causas más específicas que servirán para ser analizadas en los posteriores niveles del ciclo DMAIC.

Figura 24

Diagrama de Ishikawa de primer nivel



En la Figura 24 se presenta el diagrama de Ishikawa con las causas detectadas en el proceso productivo. Primero, podemos ver las causas identificadas con respecto a la materia prima, donde se puede determinar que dichas causas tienen que ver con errores humanos, es decir; la dosificación del material y desperdicios del mismo, afectando así la calidad de los lotes producidos.

Con respecto a la maquinaria, la planta cuenta con equipos necesarios para la producción de adoquines de manera ágil tal como son: una mezcladora adecuada; y un vibrocompactador de gran capacidad, pero, se han dado problemas muy recurrentes con desgaste de rodamientos sin contar los repuestos para su sustitución de manera inmediata, provocando así demoras prolongadas del proceso productivo en lo que esperan el cambio de dichos rodamientos para poner en marcha la máquina. Además de eso lastimosamente la empresa no tiene un programa de mantenimiento preventivo para las máquinas y solo se enfoca en arreglarlas cuando presentan problemas específicos lo que incrementa la probabilidad de retrasos en la producción.

En lo que respecta al personal laboral, siendo un factor fundamental para el éxito, se ha destacado lo siguiente: proporcionar formación al equipo para fortalecer sus habilidades específicas; y renovar su equipo de protección personal actual garantizando la seguridad de cada individuo involucrado en el proceso productivo, esto con el fin de optimizar los tiempos en cada fase del proceso laboral.

Con respecto a la medición, aunque sí se dispone de recipientes para efectuar la dosificación de los materiales necesarios, no está muy bien definida la cantidad de materiales con dichos recipientes (carretillas), además del desgaste que tienen los moldes debido a su uso continuo, generando así, fallas en la dosificación de los materiales necesarios y unidades defectuosas, afectando de manera directa la consistencia del proceso productivo.

El medio ambiente juega un papel muy importante en el proceso productivo debido a que la mayoría de las actividades se realizan al aire libre. Los cambios climáticos vertiginosos que vivimos en la capital tales como: exceso de sol; y fuertes lluvias, pueden interferir enormemente con el proceso de producción ya que no se cuenta con una cubierta que pueda proteger al personal de las inclemencias del ambiente y por ende puede verse afectada la calidad de los adoquines.

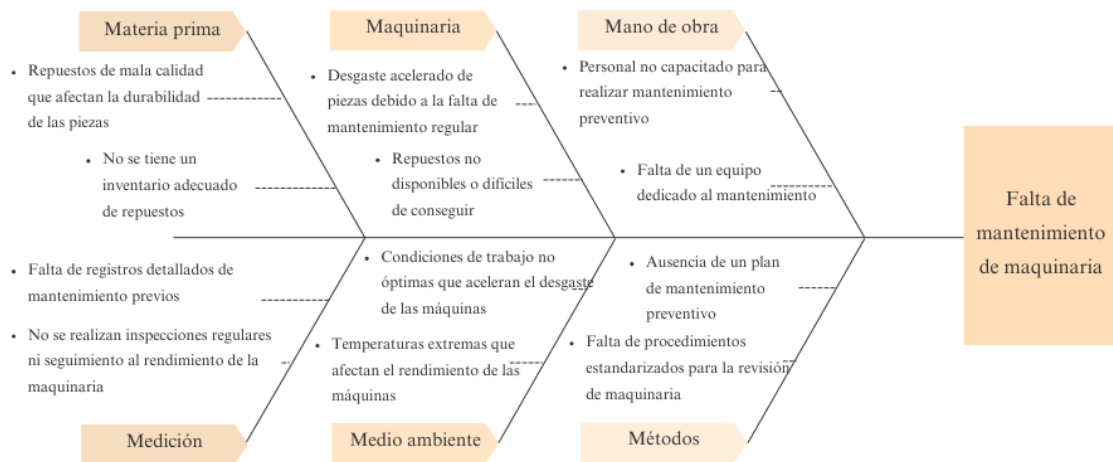
Por último, se constató que el proceso productivo se realiza de forma empírica, con indicaciones verbales del operador con más experiencia. Cuando hay cambios en el personal de una empresa, los empleados recién llegados suelen tener que adaptarse rápidamente al proceso de trabajo, esto puede provocar inconsistencias en la ejecución de tareas debido a la falta de un manual de producción que establezca claramente los procedimientos para cada fase y sirva como referencia para todo el personal implicado.

Segundo nivel

El segundo nivel de este análisis se dedica a descomponer la causa con mayor relevancia detectada en el primer nivel, esto con el fin de buscar el origen del problema que provoca dicha causa, profundizando con más detalle dentro de las categorías de 6M. Este análisis minucioso ayuda a comprender cómo las razones generales se reflejan en situaciones específicas dentro del proceso, lo que hace más fácil identificar acciones precisas para abordar el problema y aumentar la eficiencia del proceso.

Figura 25

Diagrama de Ishikawa de segundo nivel



Según se observó en la Figura 25 y al analizar uno por uno los aspectos involucrados, el asunto de la “Falta de mantenimiento de la maquinaria” parece emerger como un elemento crucial que incide en la producción. Esto se debe a que cuando los equipos presentan fallas o se encuentran en mal estado pueden provocar: detenciones operativas, momentos de paralización, disminución en la velocidad de producción y defectos en los productos elaborados, impactando directamente en la cantidad de adoquines producidos y en la eficiencia del proceso productivo.

Gracias a la información recolectada por este segundo nivel, se pudo detectar los siguientes problemas: repuestos de mala calidad, lo que provoca un desgaste prematuro de las mismas; y una falta de inventario de repuestos, lo que genera dificultad al momento de reemplazar las piezas dañadas. En conjunto, esto incrementa el riesgo de las paradas no programadas que muchas veces pueden ser prolongadas, afectando así de manera negativa la productividad.

El deterioro de las piezas de la maquinaria suele producirse debido a la falta de mantenimiento adecuado y periódico, llevando trabajar a dicha maquina a una menor capacidad para lo que originalmente está diseñada. A esto también se ha determinado que ciertos repuestos no se encuentran con facilidad en el mercado ecuatoriano, lo que conlleva a depender de proveedores externos cuyos plazos de entrega son muy prolongados.

En lo que respecta al personal laboral. Se observó que el personal no posee entrenamiento adecuado para llevar a cabo tareas de mantenimiento preventivo. Esa carencia de capacitación específica dificulta que los operarios identifiquen tempranamente los problemas en las maquinas lo cual podría evitar daños mayores o detenciones no previstas. Por otra parte, no hay un equipo dedicado exclusivamente al mantenimiento lo cual aumenta la carga laboral de los operarios y ocasiona una distribución ineficiente de las tareas.

La falta de registros detallados de los mantenimientos realizados anteriormente hace difícil realizar un seguimiento adecuado al estado de las máquinas, por lo que es complicado identificar adecuadamente el estado de las mismas o identificar el desgaste que han tenido a lo largo del tiempo debido a su uso. Además, no se realizan inspecciones regulares ni se lleva un seguimiento continuo del rendimiento de la maquinaria. Este descuido en las revisiones preventivas dificulta la detención oportuna de inconvenientes que podrían haber sido resuelto previamente antes de que impactaran de forma significativa en el rendimiento de los equipos.

Las condiciones laborales también desempeñan un rol crucial en el desgaste de la maquinaria. El entorno en el que operan éstas, pueden acelerar el deterioro de piezas que cumplen una función importante en la máquina, las temperaturas extremas afectan a la lubricación de las piezas y los rodamientos causando así una descompostura y la reducción del tiempo de vida de la máquina.

Para finalizar, la falta de un plan estructurado dificulta labores de mantenimiento y la asignación de los recursos necesarios para efectuarlo, generando así mantenimientos no sistemáticos llevados a cabo de manera empírica, comprometiendo así la vida útil de las máquinas. La falta de procedimientos claros y de un plan preventivo adecuado incrementa la probabilidad de fallos no detectados, lo que puede afectar tanto la productividad como la vida útil de la maquinaria.

Matriz AMFE

La segunda herramienta utilizada permitió identificar, para cada falla potencial, el efecto generado, la posible causa y la recurrencia asociada a los controles actuales implementados en el proceso de producción. Como se observa en la Tabla 30, hay 7 errores con un alto número de prioridad de riesgo (60-80 puntos), debido a que sus efectos

son graves y no se cuenta con un control registrado, sino que solo se observa el proceso. En la Tabla 31, se detallan las siglas empleadas y los niveles correspondientes.

En la Tabla 20 se destacó que la dosificación es uno de los principales problemas en la fabricación de adoquines, debido a errores en la cantidad de materiales utilizados. Además de eso, las fases finales del procedimiento (vibrocompactación, retiro de adoquines y fraguar y curado) fueron identificadas como críticas debido a su alta incidencia de defectos. Factores como el mal funcionamiento de las máquinas, el desgaste de los moldes y la ejecución por parte de los trabajadores contribuyen en gran medida a estos problemas. Por tanto, se recomendó la creación y difusión de un manual que contenga procedimientos claros y visuales para facilitar su implementación, mejorando así la calidad y eficiencia del proceso.

En todas las incidencias identificadas se han sugerido diferentes medidas de mejora destinadas a reducir el Número de Piezas Rechazadas (NPR) actual para así incrementar la eficiencia y la calidad del proceso de producción. Las propuestas a considerar son: la optimización de los tiempos de operación; la mejora en la formación del personal; y la introducción de las nuevas tecnologías, contemplando en no solo abordar la problemática actual, sino en incluir medidas preventivas que ayuden a reducir los posibles fallos en el futuro.

Con el fin de evaluar las incidencias argumentadas en el párrafo anterior, se empleará la herramienta de análisis AMFE (Análisis de Modo Fallos y sus Efectos), que permitirá identificar potenciales riesgos emergentes, priorizar los fallos según su gravedad y frecuencia, y ajustar las medidas de mejora basándose en los resultados obtenidos.

La información detallada sobre el estado actual de la producción se presenta en la Tabla 30, incluye posibles fallos y su impacto a en la calidad de los productos finales identificados por causa y control existentes para mitigar problemas y recomendar acciones correctivas para reducir o eliminar contratiempos potenciales. Este análisis ofrece una visión clara de los elementos críticos que afectan el proceso y facilitará el desarrollo de estrategias efectivas para mejorar el rendimiento global.

Tabla 30

Matriz AMFE Six sigma del resultado obtenido

Etapas	Falla potencial	Efecto de la falla potencial	SEV	Causa de la falla	OCU	Control actual	DET	NPR	Acción recomendada
Preparación de materiales	Desperdicio de materia prima	Producción de lote fluctúa debido a menor Mat. Pet.	2	Descuido del operador al momento de cargar el Mat. Pet.	1	No hay control	5	10	Establecer un sistema de control para prevenir el desperdicio de materia prima
Dosificación	Mezcla mal dosificada	La mezcla no logra obtener la consistencia y manejabilidad necesarias	3	La mezcla se realiza de manera empírica	4	No hay control	5	60	Definir y comunicar un procedimiento para la dosificación correcta, e implementar un sistema de control

Etapa	Falla potencial	Efecto de la falla potencial	SEV	Causa de la falla	OCU	Control actual	DET	NPR	Acción recomendada
Mezclado	Mezcla no homogénea	El adoquín no se produce según los parámetros técnicos requeridos	4	Mezcla insuficiente o incorrecta en tiempo o método	3	Control visual, pero sin registro	4	48	Definir y comunicar un procedimiento para realizar la mezcla de forma correcta
Compactado y vibrado	Resistencia	El adoquín no alcanza la resistencia mínima necesaria	5	Falla de la maquina	3	Control visual, pero sin registro	4	60	Desarrollar un plan de mantenimiento para la máquina y asegurar la adquisición de repuestos, como rodamientos
	Forma	Los adoquines no presentan la forma reglamentaria	5	Desgaste de moldes	4	Control visual, pero sin registro	4	80	Preservar en óptimas condiciones o reemplazar los moldes para la fabricación de adoquines

Etapa	Falla potencial	Efecto de la falla potencial	SEV	Causa de la falla	OCU	Control actual	DET	NPR	Acción recomendada
Retiro de adoquines	Tamaño	Adoquines con dimensiones inferiores o superiores a las requeridas	5	Compactación deficiente, impidiendo que el molde se llene por completo	3	Control visual, pero sin registro	4	60	Definir y comunicar un procedimiento para realizar la vibrocompactación correctamente
	Rotura	Adoquines fracturados, con grietas o daños que los hacen inservibles	5	Retiro abrupto del adoquín	4	Control visual, pero sin registro	4	80	Definir y comunicar un procedimiento para retirar los adoquines de forma correcta
	Porosidad	Adoquines con un proceso de fraguado inadecuado, que no satisfacen los estándares establecidos	5	Falta de control sobre las condiciones climáticas (sol, lluvia)	3	Control visual, pero sin registro	4	60	Definir y comunicar un protocolo para asegurar el secado adecuado de los adoquines, así como proporcionar materiales que los protejan de las inclemencias climáticas

Etapa	Falla potencial	Efecto de la falla potencial	SEV	Causa de la falla	OCU	Control actual	DET	NPR	Acción recomendada
	Absorción	Adoquines con un curado inapropiado, que no cumplen con los estándares establecido	5	El agua no se ha aplicado de manera adecuada, considerando las condiciones climáticas	3	Control visual, pero sin registro	4	60	Definir y comunicar un procedimiento para asegurar el adecuado fraguado de los adoquines, así como proporcionar envases para la dosificación precisa de agua en el proceso

A continuación, se detallan en la siguiente tabla las siglas y los niveles utilizados para conformar la información presentada en la Tabla 31. Estos criterios fueron empleados para clasificar y sintetizar los datos de manera clara y estructurada, facilitando la comprensión de los aspectos clave que se analizaron en el proceso.

Tabla 31

Siglas y niveles de Six Sigma

SEV: Severidad	OCU: Ocurrencia	DET: Detección
5 Muy alta	5 Muy alta	5 Muy alta
4 Alta	4 Alta	4 Alta
3 Media	3 Media	3 Media
2 Baja	2 Baja	2 Baja
1 Muy baja	1 Muy baja	1 Muy baja
NPR: Nivel de prioridad de riesgo		

Factores que originan los defectos

Luego de utilizar las herramientas de análisis, revisando así los resultados del proceso de fabricación, se pudieron identificar las principales razones que generan unidades defectuosas en cada lote producido, las cuáles se presentan a continuación:

- La falta de indicaciones adecuadas para guiar a los trabajadores en cada fase de la producción, resultando en dosificaciones imprecisas y falta de eficiencia en los materiales necesarios para la producción.
- La falta de un programa de mantenimiento preventivo para las máquinas utilizadas en el proceso resultó en fallas constantes que impactaron la producción.
- La degradación gradual de los moldes empleados en la producción de los adoquines está afectando la calidad y uniformidad de los productos resultantes.
- El deteriorado de ciertos elementos de la vestimenta y herramientas empleadas por el personal puede afectar la eficiencia del proceso laboral.

La razón principal detrás de los retrasos en el proceso de producción se debe a la ausencia de un manual de procedimientos estándar. Asimismo, la falta de programas formativos adecuados para los trabajadores que busquen mejorar las habilidades requeridas para llevar a cabo cada fase del proceso eficientemente también juega un papel importante en los retrasos y la inconsistencia en la calidad del producto final.

3.2.1.1.4. *Mejorar (I)*

Durante la etapa previa del proceso DMAIC se han identificado las razones que influyen directamente en los inconvenientes que afectan la eficiencia en la producción de adoquines fabricados. En esta etapa se plantean propuestas de mejoras específicas como respuestas a dichas razones buscando optimizar el rendimiento productivo. Estas medidas buscan mejorar de forma palpable la eficiencia del proceso en la compañía GUEFERZA; se espera que esto tenga un impacto positivo tanto en la calidad del producto como en la disminución de tiempos y costos, fomentando así el desempeño general de la planta de producción.

Acciones de optimización

La Tabla 32 detalla las acciones de optimización necesarias a llevar a cabo, donde, mediante la etapa de Analizar (A) se pudo comprender el origen de los desafíos, descubriendo así siete acciones de mejora con el fin de aumentar la eficiencia operativa llegando a tener un producto final de alta calidad y una optimización sobre los recursos que son necesarios para la producción de los adoquines.

Tabla 32

Acciones de optimización

Causas	Acción de mejora	Responsable	Entregable	Tiempo de la actividad
Ausencia de un manual del proceso	Creación del manual de procedimiento de producción	Gerente	Documento aprobado con los procedimientos detallados para cada fase del proceso	3 semanas para la elaboración
	Difusión del manual y los procedimientos	Jefe Producción	Informe de la reunión con control de asistencia	1 día para la coordinación y 1 día para la reunión
	Registro y monitoreo de la producción	Jefe Producción	Documentos formales que forman parte del manual de producción	Implementación continua

Causas	Acción de mejora	Responsable	Entregable	Tiempo de la actividad
Necesidad de capacitación y renovación de equipo de trabajo	Capacitación del personal operativo	Gerente	Plan de capacitación validado	1 semana para la coordinación y 1 semana para la ejecución
	Renovación de equipo de protección personal para trabajadores	Jefe Producción	Equipamiento renovado: overoles, botas de caucho, guantes, mascarillas, tensores para espalda, cubre orejas	1 semana para gestionar
Desgaste de los moldes	Reemplazo de los recipientes para dosificación y moldes para la producción de adoquines	Gerente	Nuevos recipientes para dosificar, moldes y materiales para fraguado y curado	1 semana para gestionar
Ausencia de un plan de mantenimiento o preventivo	Elaboración de un plan de mantenimiento o para maquinaria	Jefe Producción	Documento formal con plan de mantenimiento y stock de repuestos necesarios	1 semana para gestión y mantenimiento o continuo

Se busca solucionar los problemas identificados en la etapa de producción a través de cada una de estas acciones propuestas inicialmente destacando la importancia de desarrollar un manual exhaustivo del proceso productivo que ofrezca directrices claras para que el personal comprenda cómo llevar a cabo de manera precisa las tareas específicas en cada fase del proceso a fin de reducir errores y mejorar la eficiencia en el tiempo total de producción.

Uno de los aspectos principales es garantizar el suministro adecuado de las piezas de repuesto con el propósito de realizar mantenimientos preventivos controlados, de tal manera que se podrá garantizar la operatividad de la máquina sin ninguna interrupción.

Además de ello, la obtención de moldes adicionales ayudará a distribuir de manera más eficaz el uso de los mismos durante la fabricación de lotes, lo que permitirá que ciertos moldes permanezcan en reposo sin interrupciones en el flujo constante de producción. Esto contribuirá a mejorar el ritmo y la eficiencia del proceso productivo.

Finalmente se han señalado dos aspectos fundamentales vinculados al personal en cuestión: en primer lugar, se plantea la implementación de un programa de formación específico acerca del proceso de fabricación de adoquines en consonancia a las directrices establecidas por la empresa; y en segundo lugar se subraya la relevancia de actualizar el vestuario del equipo de trabajo para asegurar su protección y contribuir al cumplimiento de los plazos estipulados en cada etapa del procedimiento.

Análisis de viabilidad

Un punto importante a considerar es el análisis de la viabilidad, ya que las propuestas a implementar deben ser factibles sin realizar cambios significativos en la estructura de la empresa, esperando que dichas propuestas generen una notable mejora en la eficiencia del proceso productivo, reduciendo así el número de unidades defectuosas y generando un aumento en la producción diaria de lotes de adoquines. A continuación, la Tabla 33 presenta el análisis de viabilidad abordando las perspectivas: operativa; técnica; y económica.

Tabla 33

Viabilidad de las acciones de mejora

Acciones de mejora	Operativa	Técnica	Económica
Creación del manual de procedimiento de producción	Establecimiento de lineamientos y estándares para cada etapa del proceso	Realización por un ingeniero industrial especializado en procesos productivos	Costo por honorarios para la creación del manual
Difusión del manual y los procedimientos	Realización de una reunión para informar a los trabajadores sobre los procedimientos	Explicación a cargo de la persona que elaboró el manual	Costo por copias del manual y refrigerios durante la reunión
Registro y monitoreo de la producción	Creación de formatos para registrar y controlar	Diseñado por la persona encargada	Incluido en el costo de la

Acciones de mejora	Operativa	Técnica	Económica
	la calidad del proceso productivo	de elaborar el manual	elaboración del manual
Capacitación del personal operativo	Mejora de habilidades y conocimientos necesarios para ejecutar cada etapa del proceso	Dirigida por un ingeniero civil con experiencia en la fabricación de adoquines	Costo de honorarios del capacitador, material de apoyo y refrigerios
Renovación de equipo de protección personal para trabajadores	Suministro de uniformes y accesorios que aseguren una ejecución adecuada del trabajo	Cotización y compra de indumentaria mínima	Costo por la adquisición de overoles, botas, guantes, mascarillas, tensores de espalda y cubre orejas
Reemplazo de los recipientes para dosificación y moldes para la producción de adoquines	Provisión de moldes y recipientes adicionales para la conservación de los actuales	Cotización y compra de moldes y recipientes adecuados a la necesidad	Costo por la compra de moldes y recipientes para dosificación y pesaje
Elaboración de un plan de mantenimiento para maquinaria	Contratación de un servicio de mantenimiento preventivo por un técnico especializado	Cotización con proveedores de maquinaria o técnicos especializados	Costo por consumibles y mantenimiento trimestral, según necesidad

Según se puede visualizar en la Tabla 33, todas las propuestas de mejoría son factibles tanto desde un punto de vista operativo como técnico. Además, los costos requeridos para implementar estas acciones son relativamente bajos, lo que hará que la empresa recupere rápidamente la inversión gracias al aumento en la productividad que se espera obtener. Esta optimización en el rendimiento No solo ayudará a mejorar la eficiencia de los recursos, sino que también aumentará los ingresos al incrementar la capacidad de

producción y disminuir los fallos en los productos; esto se traducirá en una mayor competitividad y rentabilidad para la empresa.

Estimación de costos para mejoras

En la Tabla 34, se detallan los recursos necesarios para implementar cada una de las acciones de mejora, junto con una estimación del costo que representaría para la empresa. Estos recursos han sido evaluados para asegurar que las inversiones sean viables y contribuyan a optimizar los procesos, generando así un retorno positivo en términos de productividad y calidad en la producción.

Tabla 34

Presupuesto estimado para acciones de mejora

Acción de mejora	Recursos	Costo
Creación del manual de procedimiento de producción	Ingeniero industrial para la elaboración del manual	USD 1,500.00
Difusión del manual y los procedimientos	Copias del manual y refrigerio	USD 200.00
Registro y monitoreo de la producción	Formatos diseñados para registro y control	N/A
Capacitación del personal operativo	Ingeniero civil con experiencia en adoquines, copias de material, refrigerios	USD 1,500.00
Renovación de equipo de protección personal para trabajadores	Overoles, botas caucho, guantes, mascarillas, tensores de espalda, cubre orejas	USD 2,500.00
Reemplazo de los recipientes para dosificación y moldes para la producción de adoquines	Recipientes de medida y pesaje	USD 500.00
Elaboración de un plan de mantenimiento para maquinaria	Mantenimiento preventivo de mezcladora, vibro compactadoras y stock de consumibles	USD 3,000.00
TOTAL		USD 9,200.00

El presupuesto estimado en aproximadamente nueve mil dos cientos dólares americanos será suficiente para implementar todas las acciones de mejora propuestas. Como se demostrará más adelante, esta inversión será cubierta por los ingresos adicionales

generados gracias al aumento de la productividad. Esto se logrará mediante la reducción del porcentaje de unidades defectuosas y la capacidad de producir un mayor número de lotes en cada jornada laboral. Se prevé que las mejoras en el procedimiento conduzcan a una mayor eficiencia operativa. Esto resultará en una mejora tanto en la calidad como en la cantidad de la producción. De esta manera se garantizará la sustentabilidad financiera del proyecto a largo plazo.

Manual del proceso de producción

Es importante realizar el Manual del Proceso de Producción, el cual debe contener explicaciones detalladas de cada fase del proceso de producción, además de incluir detalles del personal involucrado en cada una de las fases, incluyendo también el detalle de los materiales necesarios con su dosificación, con el fin de tener un proceso adecuado y estructurado, reduciendo al mínimo los defectos en los lotes producidos.

El manual debe especificar, herramientas y maquinarias que se necesitan con instrucciones claras y detalladas para su adecuado uso, detallando también el tiempo máximo de cada tarea dentro del proceso productivo con el fin de manipular adecuadamente las herramientas y las maquinarias, evitando así los desplazamientos innecesarios, generando un adecuado desarrollo de las actividades.

Este manual también debe ser fácil de entender y ser accesible para todos los trabajadores, sean antiguos o nuevos en la planta, este manual también deberá incluir imágenes o diagramas que muestren los procedimientos a ejecutarse en cada fase de la producción, esto con la finalidad de facilitar la adopción y comprensión tanto para operarios que dominen terminologías técnicas como para los que no tienen familiaridad con dichas terminologías que son muy usuales en los procesos de producción.

Además, el manual debe incluir al menos tres medidas que son: calidad; eficiencia; y tiempos, para cada fase del proceso productivo con el fin de supervisar el funcionamiento del sistema y recopilar datos mediante registros fáciles de usar en tiempo real, logrando así la mejora continua. Esto permitirá tomar decisiones fundamentadas para optimizar la gestión del proceso productivo.

Capacitación del personal encargado

Desde un punto de vista más lógico, para aumentar la productividad en la empresa es crucial mejorar los conocimientos del personal empleado allí de una forma más profunda

y sólida en el área de la fabricación de adoquines; esto no solo les permitirá entender mejor los aspectos técnicos del proceso, sino que también servirá como un estímulo para que se comprometan y se motiven más en su trabajo dentro de la empresa. Al tener un equipo más capacitado lo que se espera es un aumento significativo en la calidad y eficiencia del trabajo realizado.

La meta principal de la formación inicial es aumentar la eficiencia en el trabajo diario de los operarios que son responsables directos del proceso productivo. Es fundamental contar en la empresa un equipo bien preparado y actualizado que disponga de las herramientas adecuadas para realizar sus tareas de forma óptima y así maximizar el rendimiento global.

Para concluir, la formación de los empleados debe tener un buen contenido teórico centrado en desarrollar las habilidades necesarias para llevar a cabo de manera eficiente el proceso de producción, combinando la teoría con práctica con el objetivo de aplicar lo aprendido, de esta manera mejorando las habilidades técnicas y aumentando la confiabilidad del proceso.

Mantenimiento preventivo de maquinaria

Para realizar un mantenimiento preventivo adecuado a la maquinaria, es necesario mantener contacto con el proveedor del equipo, ya que este nos podrá ayudar o referenciar un técnico especializado en el servicio del mantenimiento preventivo. En caso de que esta alternativa no sea viable o el costo resulte prohibitivo, otra opción sería buscar a un técnico especializado que cuente con la experticia y experiencia necesarias para el mantenimiento del equipo específico. Este técnico también podrá sugerir los tiempos adecuados de mantenimiento para asegurar que cada equipo opere a su máxima capacidad, evitando interrupciones en el proceso productivo.

Dado el alto ritmo de trabajo continuo que requieren las máquinas, se sugiere realizar un mantenimiento preventivo trimestral. Esta acción debería llevarse a cabo fuera de las horas de producción, para no interrumpir el flujo de trabajo ni el proceso de generación de ingresos de la empresa. Además de eso se tendrá que encargarse de adquirir un inventario de suministros consumibles como repuestos y materiales que se desgastan debido al alto rendimiento de las máquinas. Este inventario será fundamental para llevar a cabo el mantenimiento adecuado a tiempo y asegurar que las máquinas sigan funcionando sin problemas.

Seguimiento de calidad en el proceso productivo

El monitorear de forma constante el proceso de producción resultará esencial para asegurar la calidad de los adoquines; sin embargo, se debe aplicar de tal manera que no se sientan como una carga o una forma de castigar al personal involucrado en el proceso. En vez de ser considerados solo como un requisito básico, estos controles deben ser percibidos como un recurso que aportará al triunfo global de la empresa. Para alcanzar este objetivo es fundamental llevar a cabo acciones de socialización del procedimiento manual y ofrecer formación de forma regular, durante estas sesiones las autoridades de la empresa deberán comunicar a los empleados la importancia de los controles en el proceso de fabricación y cómo estos contribuirán positivamente a los resultados de la producción.

Es esencial que los empleados comprendan que al mejorar su desempeño en la producción no solo benefician los resultados de la empresa, sino que también les garantizan estabilidad laboral y la posible obtención de reconocimientos por su trabajo destacado, dándoles a entender que el control de calidad no es una sanción sino una oportunidad para que puedan crecer laboralmente y desarrollar adecuadamente sus destrezas.

Para complementar, el seguimiento de la calidad, a pesar de provocar temor e incluso ansiedad a los empleados, se debe llevar de manera armoniosa y encontrar formas de premiar estos logros y esmeros a los trabajadores con el objetivo de aumentar la dedicación de los empleados y premiándolos por eso, consiguiendo así mejorar los procesos de fabricación de adoquines haciendo correcto uso de las normas establecidas y garantizando la calidad del producto final.

Evaluación de mejoras

Es necesario llevar a cabo una evaluación de mejoras a implementar, obteniendo datos numéricos tal como se indica en la Tabla 35 y Tabla 36, esto es imprescindible realizar con la finalidad de evaluar el progreso de las mejoras y ajustarlas de ser necesario. Esta evolución no solo contribuiría al fortalecimiento de la eficiencia operativa, sino que también potenciaría la capacidad de la compañía para hacer frente a volúmenes de demanda más altos y mejorar su posición competitiva en el mercado.

Tabla 35*Mejora en el tiempo promedio de los procesos*

Descripción	Actual	Propuesta	Variación
Tiempo esperado	20:00	20:00	
Tiempo promedio por cada lote	24:26	21:20	
% Variación sobre el tiempo esperado	22,24%	6,67%	-70,02%
Lotes al día	24	27	12,50%

El tiempo promedio requerido para completar un lote es de 24 minutos y 26 segundos en el proceso actual en lugar de los 20 minutos estándar establecido originalmente, esto implica un aumento del 22:24 % sobre el tiempo estimado inicialmente. Implementando procedimientos claros, proporcionando los implementos necesarios y capacitando al personal, se podría lograr una reducción significativa del tiempo por lote.

Tomando un punto realista y también considerando los factores tales como: desplazamientos innecesarios; imprevistos externos; y desgaste físico debido a los procesos, se llegó a estimar una reducción del tiempo total de 21:20 minutos, es decir una diferencia del 6.67% en comparación con el tiempo estándar, reduciendo así esta brecha desde el 22% hasta el 6%, es decir una variación del 70%, obteniendo así, espacio para producir tres lotes más sobre los actuales producidos en una jornada laboral.

Tabla 36*Mejora de la productividad del proceso*

Producción	Actual	Propuesta	Variación
Unidades por lote	60	60	
% con defectos	13,95%	5,00%	-64,17%
Unidades con defectos	8	3	
Neta por lote	52	57	10,41%
Lotes al día	24	27	12,50%
Neta al día	1239	1539	
Neta a la semana	6195	7695	
Neta al mes	24781	30780	
Neta al año	297377	369360	24.21%

En la Tabla 36 se muestra la reducción estimada de los defectos en las unidades producidas por cada lote y el impacto de la propuesta aplicando las estrategias sugeridas,

disminuyendo la cantidad de productos defectuosos de manera significativa y garantizando la mejora de la calidad de adoquines con un tiempo optimizado. De este modo se conseguirá un proceso más eficiente y rentable que siga los principios de mejora constante y calidad establecido por el modelo Lean Six Sigma.

Cada lote genera una producción estándar de 60 adoquines, y esta cantidad no se modificará en esta propuesta de mejora. Modificar la cantidad de producción necesitaría una inversión importante ya que requeriría la instalación de una línea alternativa o el reemplazo de la maquinaria por equipos de mayor capacidad; acciones que no están dentro del alcance de las medidas propuestas en este momento. No obstante, y en lugar de ello se está buscando mejorar la eficiencia al reducir la cantidad de adoquines defectuosos que actualmente impactan negativamente en la producción efectiva disponible para su venta tal como se describe en la Tabla 35 de manera detallada.

Para resolver este problema específico proponemos directrices claras para el personal y renovar el equipo de protección individual además de adquirir más moldes y recipientes junto a suministros adicionales y un programa de mantenimiento para las máquinas. Estas acciones tienen el potencial de reducir significativamente los fallos en la producción. Aunque idealmente podrían ser eliminados por completo hemos establecido un objetivo más realista: reducir la tasa de defectos del 14% al 5%. Esta disminución aumentaría el número total de adoquines vendibles en un 24.21%, teniendo un impactante efectivo en la eficiencia de la empresa.

Para corroborar adecuadamente los resultados estimados se empleó la metodología Six Sigma utilizando las fórmulas de DPU y DPM0 en las cantidades de producción actualizadas. Los valores obtenidos permiten cuantificar la mejora en la calidad del proceso y evidencian la viabilidad de alcanzar los objetivos propuestos mediante la implementación de estas acciones. Este enfoque refuerza la eficacia de las medidas planteadas y consolida su aporte al cumplimiento de los estándares de calidad y productividad deseados.

$$DPU = \frac{18}{360} * 100 \quad (7)$$

$$DPU = 5,0\% \quad (8)$$

De acuerdo con el precedente, el DPU para la situación propuesta del proceso de fabricación sería de 5%.

$$DPMO = \frac{18}{360 * 6} * 1'.000.000 \quad (9)$$

$$DPMO = 8.333,33 \quad (10)$$

Al aplicar el resultado obtenido del DPMO a los niveles Six Sigma establecidos en la Tabla 8, se evidencia que el proceso se mantiene dentro de los niveles 3 y 4. Esto indica una mejora significativa en el rendimiento del sistema productivo, lo cual puede observarse reflejado en la Tabla 37. Este avance refuerza la efectividad de las acciones implementadas y destaca el impacto positivo de reducir los defectos en el proceso de fabricación.

Tabla 37

Nivel Six Sigma de la propuesta de mejora

Nivel de σ (sigma)	Partes por millón	Eficiencia	Defectos por 100
6	3,4	99,99 %	0,00034
5	233,0	99,98 %	0,023
4	6.210,0	99,30 %	0,621
Calculado de propuesta	8.333	98.79 %	0.83
3	66.807,0	93,30 %	6,68
2	308.537,0	69,15 %	30,8
1	690.000,00	30,85 %	69

Con la implementación de las mejoras sugeridas, el rendimiento del proceso alcanzaría un 98.8 %, lo que sugiere que hay margen para continuar mejorando la optimización incluso después de llevar a cabo las acciones propuestas. Comparado con el 97.94% reflejado en la Tabla 29, este nuevo nivel muestra un incremento cercano a un punto porcentual. Este progreso, aunque modesto, destaca la importancia de mantener un enfoque continuo en la mejora de los procesos para lograr estándares más altos de calidad y eficiencia.

3.2.1.1.5. Controlar (C)

En esta última etapa, se explicará cómo se llevará a cabo el seguimiento y monitoreo de las acciones de mejora propuestas en la fase anterior. Además de exponer el plan de acción para llevar a cabo las mejoras y los aspectos fundamentales para garantizar su éxito, se ofrecerán indicaciones detalladas para llevar a cabo un seguimiento adecuado. Asimismo, se establecerán las acciones correctivas que hay que implementar en caso de que los resultados del proceso productivo no cumplan los objetivos establecidos a fin de asegurar que las proyecciones se cumplan de forma efectiva.

Implementación de las acciones de mejora

En la Tabla 38 se muestra el plan preliminar para llevar a cabo las acciones de mejora identificadas en la etapa previa. El tiempo asignado para gestionar todas las mejoras es todo un mes calendario y se le ha dado el nombre de “Fase de mejoras” en el cuadro subsiguiente. A partir de la quinta semana comienza la “Fase propuesta”, donde se verán reflejar los resultados esperados en cuanto al aumento de la productividad. Estos elementos estarán listos en esta etapa: directrices establecidas previamente para mejoras en los conocimientos adquiridos y los recursos como contenedores y vestimenta necesarios.

La etapa “Fase de mejoras” no solo implica la asignación de recursos y la planificación de la logística, sino que también abarca la formación del personal y la actualización de los procedimientos operativos para asegurar que el equipo esté listo para implementar las nuevas estrategias de forma eficaz. En la “Fase propuesta”, el foco estará en evaluar los resultados inmediatos y ajustar las acciones según sea necesario, permitiendo una mejora continua a lo largo del proceso. Además, se realizarán seguimientos periódicos para monitorear la eficiencia de las mejoras y asegurar que los objetivos establecidos se estén alcanzando de acuerdo con los plazos establecidos.

Tabla 38*Cronograma de aplicación de las acciones de mejora*

Acción de mejora	Fase de mejoras			Fase propuesta		
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Creación del manual de procedimiento de producción	X	X	X			
Difusión del manual y los procedimientos				X		
Registro y monitoreo de la producción					X	X
Capacitación del personal operativo		X		X		
Renovación de equipo de protección personal para trabajadores			X			
Reemplazo de los recipientes para dosificación y moldes para la producción de adoquines			X			
Elaboración de un plan de mantenimiento para maquinaria		X			X	X

La etapa “Fase de mejoras” no solo implica la asignación de recursos y la planificación de la logística, sino que también abarca la formación del personal y la actualización de los procedimientos operativos para asegurar que el equipo esté listo para implementar las nuevas estrategias de forma eficaz. En la “Fase propuesta”, el foco estará en evaluar los resultados inmediatos y ajustar las acciones según sea necesario, permitiendo una mejora

continúa a lo largo del proceso. Además, se realizarán seguimientos periódicos para monitorear la eficiencia de las mejoras y asegurar que los objetivos establecidos se estén alcanzando de acuerdo con los plazos establecidos.

Durante un mes calendario deberán realizarse todas las gestiones y coordinaciones pertinentes para contar en el plan de mejora los recursos necesarios que permitan llevar a cabo la implementación de la propuesta planteada. Para asegurar el éxito de este procedimiento es crucial tener en cuenta los aspectos que se detallan a continuación:

- Tener el total respaldo de los propietarios que hayan revisado y aprobado la propuesta en su totalidad y también los beneficios previstos a obtener.
- Se deberá seleccionar a un líder de producción que actúe como responsable principal del proyecto y se encargue de llevar a cabo la propuesta de manera eficaz y eficiente en términos de seguimiento y ejecución de las tareas asignadas en todo momento para garantizar el cumplimiento de los objetivos fijados por medio de informes detallados presentados regularmente al Administrador en intervalos diarios a lo largo del tiempo.
- Asegurar el compromiso voluntario de los trabajadores directamente involucrados en la fabricación de adoquines, así como de aquellos que desempeñan funciones relacionadas, como el operario de montacargas y el encargado de bodegas.
- Aunque cada acción de mejora tiene un responsable específico, como se detalla en la Tabla 30, el jefe de producción deberá realizar un seguimiento diario de las actividades durante el primer mes previo al inicio de la “Fase propuesta”.
- Si alguno de los valores estimados para las acciones de mejora resulta diferente a lo planteado, será necesario ajustar el total de la inversión requerida, con el fin de asegurar una correcta evaluación del retorno de inversión.
- En caso de que, debido a factores externos o limitaciones presupuestarias, las acciones de mejora no puedan completarse en un mes calendario, se deberá retrasar el inicio de la “Fase propuesta” hasta que todos los elementos estén listos. Esto garantizará que se obtengan los resultados estimados en este documento. Es importante destacar que la aplicación parcial de una o dos acciones de mejora no generará los resultados previstos, ya que el planteamiento depende de la

implementación integral de todas las alternativas propuestas para alcanzar el aumento de productividad que requiere GUEFERZA.

Monitoreo del proceso

La implementación de la metodología DMAIC en el proceso de producción de GUEFERZA es una actividad prioritaria para garantizar la ejecución efectiva de las acciones planteadas. Esto permitirá verificar que las instrucciones se cumplan, los implementos se utilicen adecuadamente y los resultados esperados se logren. Esta acción será la única forma de asegurar el éxito en el día a día de la operación productiva.

Para llevar a cabo este control, se propone la utilización de formatos de registro diseñados específicamente como parte del manual de procesos de fabricación de adoquines. Estos formatos deben recopilar información relevante, como tiempos de cada etapa, cantidad de desperfectos o novedades, pesos, desperdicios y situaciones externas (e.g., cambios climáticos, daños en maquinaria, ausencias de trabajadores o problemas de recursos). Esto permitirá al encargado de las mejoras obtener una visión clara del desempeño de cada lote, facilitando la evaluación de la productividad y su comunicación a los propietarios de la empresa.

En este marco, se recomienda otorgar al jefe de producción la autoridad necesaria para supervisar el registro preciso de datos por lote y realizar los cálculos pertinentes, apoyado por su personal administrativo, esta estrategia probará el progreso en cantidad y calidad de producción evidenciando las mejoras tanto en eficiencia como en eficacia.

Es necesario realizar la medición de al menos 6 lotes diarios de manera aleatoria, esto para evitar modificar el ritmo de trabajo del personal al saber que están siendo observados y obtener resultados que no representan fielmente la realidad del proceso de fabricación. La toma aleatoria de las muestras se encargará de recopilar datos para poder analizarlos y comparar su alineación con los objetivos planteados en la propuesta.

Como estímulo adicional para motivar al personal a alcanzar los objetivos diarios establecidos en el trabajo puede ser considerada la introducción por parte del jefe del departamento productivo un sistema de incentivos económicos o no económicos basado en el reconocimiento laboral. Para llevar adelante esta estrategia es primordial obtener la autorización por parte de los dueños y determinar el monto del incentivo dentro del superávit proyectado para garantizar su viabilidad financiera.

También es adecuado que el líder de la empresa participe activamente en el control de calidad de la empresa, realizando supervisiones directas regulares a los empleados y a los procesos, esto con el fin de evaluar con regularidad el progreso, garantizando así una estabilidad en la eficiencia del proceso productivo. Esta intervención es fundamental para fomentar la mejora continua y alcanzar los objetivos establecidos como incrementar la productividad y satisfacer las necesidades del cliente.

Acciones correctivas

La supervisión juega un papel fundamental en esta propuesta al garantizar niveles constantes de eficacia y eficiencia para que la empresa pueda lograr ganancias adicionales en comparación a la situación actual. En caso de detectar desviaciones en la producción durante un lote o jornada específica, el jefe del departamento deberá corregir los resultados en otro lote o día dentro de la misma semana. Sin embargo, si las desviaciones afectan a múltiples lotes o jornadas, el incidente se debe informar sin demora al Gerente y/o a los dueños según el impacto del problema.

Para abordar la situación de manera efectiva se requerirá llevar a cabo un encuentro entre los dueños de la empresa junto al gerente y al supervisor de producción para analizar las raíces del inconveniente y los resultados no esperados. En esta reunión se podrán emplear herramientas como sesiones de lluvia de ideas y diagramas causa-efectos o matrices AMFE para detectar las causas profundas y elaborar soluciones específicas que reduzcan los efectos negativos.

Las medidas correctivas deben aplicarse conforme a los principios de DMAIC, es decir, de forma estructurada y siguiendo las cinco etapas correspondientes, de tal manera que se garantice una resolución eficiente de los problemas que se presenten, manteniendo así los estándares de productividad y la mejora continua que se estableció en el presente plan.

3.3. Análisis económico

El análisis económico de la propuesta se muestra en la Tabla 39 y detalla los datos anuales sobre la producción sin defectos de adoquines y los ingresos generados a partir de ella basados en un precio unitario estándar. El objetivo de este análisis es evaluar el impacto financiero de las mejoras sugeridas y demostrar cómo estas pueden aumentar la rentabilidad global de la empresa.

Tabla 39*Estimación de ingresos*

Rubro	Actual		Propuesta	
	Cantidad	Valores	Cantidad	Valores
Unidades al año	297377		369360	
Precio unitario		0,36		0,36
Ingreso por año		\$107.055,63		\$132.969,60
Excedente anual			24,21%	\$ 25.913,97

Asumiendo que el precio unitario de cada uno de los adoquines es de 36 centavos de dólar, se proyecta que el ingreso anual bajo la propuesta superará en un 24.21% al ingreso obtenido en las condiciones actuales. Esto representaría un incremento aproximado de 26,000 dólares anuales, lo que equivale a cerca de 2,160 dólares adicionales por mes.

En la Tabla 40, se puede observar el análisis financiero del excedente estimado comparado con la inversión inicial luego de aplicar las mejoras propuestas, analizando así la viabilidad económica que tiene el proyecto y el potencial para generar un retorno positivo de la inversión efectuada para llevarlo a cabo.

Tabla 40*Evaluación de la inversión para la mejora*

Rubro	Valores	Valor actualizado
Inversión	\$ -9.200,00	\$ -9.200,00
Excedente Año 1	\$ 25.913,97	\$23.558,16
Tasa de descuento	10%	
VAN		\$ 14.358,16
TIR	182%	

La cantidad inicial necesaria para llevar a cabo las mejoras propuestas asciende a aproximadamente \$9200 según lo especificado en la Tabla 35. Al emplear el principio del Valor Actual Neto (VAN), utilizando una tasa de descuento del 10%, se ajustan los ingresos excedentes estimados y se obtiene un total de \$14,000. Este resultado confirma que en un año no solo se recuperará la inversión inicial completa, sino que también se generará un excedente sustancialmente positivo; lo cual respalda la viabilidad económica del proyecto.

Además, al calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR), se obtiene un porcentaje del 182%. Este valor indica el nivel de rentabilidad esperado sobre la inversión inicial en un periodo

de un año y señala un rendimiento muy positivo. Este hallazgo respalda la viabilidad financiera de las mejoras sugeridas y evidencia que la inversión resultará en beneficios sustanciales para la empresa.

Finalmente se calcula que el valor actualizado del excedente anual ronda los \$23,000 aproximadamente lo que corresponde a un ingreso mensual cercano a los \$1963 bajo estas circunstancias serían necesarios alrededor de 5 meses para recuperar el capital invertido lo que establecería el Plazo para Recuperar la Inversión en ese periodo. Este corto tiempo de recuperación evidencia que la propuesta no solo es rentable, sino que permite un retorno rápido del capital, consolidando su viabilidad económica y financiera.

3.4. Comprobación de la hipótesis

la hipótesis formulada al inicio de esta investigación establece que “La implementación de la metodología DMAIC 6 SIGMA mejora la productividad en los procesos de fabricación de adoquines en la empresa GUEFERZA, ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito.” Para verificar esta afirmación, se ha preparado un resumen comparativo que detalla las diferencias clave entre la situación actual y la propuesta de mejora, el cual se presenta en la Tabla 41.

Tabla 41

Cuadro comparativo de resultados

Productividad	Situación actual	Situación propuesta	Variación	% variación
Tiempo promedio por lote	24:26	21:20	-3:06	-12,74%
Cantidad de lotes por jornada	24	27	3,00	12,50%
Unidades con defectos	8	3	-5,37	-64,17%
Unidades efectivas por lotes	52	57	5,37	10,41%
Unidades efectivas por año	297377	369360	71983,26	24,21%
Ingresos por lote	\$ 18.59	\$ 20.52	\$1.93	10,41%
Ingresos por año	\$ 107,055.63	\$ 132,969.60	\$ 25,913.97	24,21%

La implementación de la metodología DMAIC refleja una mejora sustancial en la eficiencia del proceso de producción. En promedio el tiempo necesario para completar un

grupo de trabajo sería reducido en 3 minutos y 6 segundos equivalente a una disminución del 13%. Con esta mejora sería posible añadir tres grupos adicionales por día laboral aumentando la producción diaria en un 12%. Además de esto el número de productos defectuosos por grupo de trabajo disminuiría de 8 a 3 logrando una reducción del 34 % en fallos de fabricación y aumentando la proporción de adoquines aptos para la venta de 52 a 57 unidades lo que supone un aumento del 10%.

El volumen total aumentaría en un 24%, lo que resultaría en un incremento de los ingresos de aproximadamente \$26,000 al año con una inversión inicial de \$9200, eso siendo posible gracias a la disminución de los desperdicios y el aumento en la capacidad de producción luego de implementar las estrategias planteadas en la presente investigación, confirmando así el impacto positivo de DMAIC en el proceso productivo de los adoquines.

Este capítulo presentó la propuesta para aplicar la metodología DMAIC como fundamento en el proceso de fabricación de adoquines en la empresa GUEFERZA, comenzando con el reconocimiento de los inconvenientes que afectan significativamente a la empresa detectados antes de los resultados. Posteriormente, se detallaron tanto la justificación como el esquema de la propuesta, ofreciendo una visión integral de su desarrollo.

La propuesta abarcó las cinco etapas fundamentales de la metodología DMAIC. En la primera, se definió el problema principal a resolver, seguido de la medición de datos clave. A continuación, se analizó a profundidad las causas subyacentes del problema, lo que permitió identificar oportunidades de mejora. Tomando como base los descubrimientos en esta investigación, se propusieron soluciones que necesitarán una inversión aproximada de \$9200 para poner en marcha la propuesta, junto con un plan de ejecución de un mes incluyendo las estrategias de control constante y las acciones correctivas en caso de desviaciones asegurando así una implementación exitosa.

Para finalizar, se analizó el proceso detalladamente, tanto en viabilidad económica como financiera al momento de invertir en las mejoras propuestas, con el fin de resaltar los beneficios a futuro de esta implementación. Este análisis permitió validar la hipótesis planteada, confirmando que la metodología DMAIC es una herramienta eficaz para optimizar los procesos productivos en la empresa.

3.5. Discusión de resultados

El análisis realizado a partir del estudio de 65 artículos reveló tendencias significativas en la investigación sobre Lean Construction. En cuanto a la producción científica se observó un aumento en el año 2021 alcanzando un máximo del 28 % en publicaciones; después se estabilizó en 2020 y 2022 (22 % cada año), sufrió un descenso en 2023 al 12 % y podría recuperarse en 2024 al alcanzar el 17 %. Estas variaciones indican cambios en el interés académico por el tema que podrían estar influenciados por factores externos como avances tecnológicos o transformaciones en la industria.

En lo que respecta a la calidad de las publicaciones académicas, el impacto difiere según el país de origen. El Reino Unido destaca por la cantidad de documentos y citas, mientras que China sobresale por su alta media de citas, aunque solo posee un documento. En cambio, naciones como: Países Bajos; Egipto; y Canadá, también muestran una influencia notable, lo que refleja un interés mundial en la implementación de Lean Construction.

Con respecto a las soluciones planteadas en la investigación bibliométrica, destaca en primer lugar Lean Six Sigma con un 30,61% es el método más utilizado gracias a su ciclo DMAIC dedicado a la eliminación de desperdicio y a la reducción de la variabilidad, luego le sigue Value Stream Mapping con un 24.49%, cuyo mapa permite visualizar el flujo de producción con el afán de mejorarlo. Tenemos también presente el 5S con un 18.37% y Kanban con un 10.20%, cuyos objetivos se entrelazan al pretender mejorar la organización y eficiencia de lugar de trabajo. Estos resultados reflejan el interés de las empresas por cada una de las Metodologías Lean, siendo la más relevante Six Sigma.

En última instancia se observó que las estrategias de recopilación de datos prefieren enfoques cualitativos como la Observación Directa y las Entrevistas Semiestructuradas, siendo estas últimas las más comunes en la investigación sobre Lean Construction. Esto indica un interés destacado en el análisis del contexto y en comprender los procesos en situaciones reales.

Durante el análisis de las fuerzas externas se observa que la competencia en el mercado de adoquines en Quito está influenciada por diversas características distintivas entre las empresas rivales. La empresa de adoquines Hormiblock cuenta con productos de alta calidad que cumplen con rigurosos estándares, ganándose un puesto en proyectos de infraestructura a gran escala. En cambio, Hormipisos al enfocarse en la estética y

durabilidad de sus adoquines, tiene gran presencia en proyectos residenciales y comerciales. En cambio, Galarami la innova con su amplia gama de productos, ha logrado crear nuevos nexos con clientes, llegando incluso a proveer al gobierno local. Por otro lado, Adoquines Quito ha logrado establecerse gracias a su reconocimiento en el ámbito local y su reputación de confianza, lo que lo convierte en una elección fiable para los proyectos de infraestructura tanto del sector público como del privado en la ciudad capitalina.

La intensa competencia entre estas empresas puede representar un desafío para GUEFERZA ya que cada una de ellas tiene una estrategia claramente definida que les permite conquistar diferentes sectores del mercado. Empresas relativamente nuevas en el mercado están invirtiendo en el desarrollo de productos que cumplan con las exigentes demandas de hoy en día, incluyendo normativas medioambientales, con el fin de ser destacar competitivamente en el mercado de la construcción.

GUEFERZA debe considerar estrategias de mejora continua en la calidad de sus productos y pensar en la innovación de sus procesos y fabricación, con el fin de hacerle frente a la competencia del mercado actual de manera exitosa. Asimismo, sería útil explorar la opción de establecer alianzas estratégicas para incursionar en nuevos mercados y fortalecer su posición frente a competidores que cuentan ya cuentan grandes capacidades productiva.

Este análisis de la rivalidad entre competidores es esencial para que GUEFERZA entienda su posición en el mercado y establezca un enfoque competitivo que le permita reducir los riesgos asociados con la alta competencia y las amenazas de nuevos competidores. La implementación de un modelo de gestión colaborativo basado en Lean Six Sigma, como se ha propuesto, también ayudará a optimizar procesos, mejorar la calidad del producto y reducir costos, lo que le permitirá mantener su competitividad a largo plazo en este entorno de alta rivalidad.

En el proceso de proponer la implementación del modelo, se estima un impacto positivo en la productividad y los ingresos de la empresa al implementar la metodología DMAIC en el proceso de producción de adoquines. En la Tabla 39 se desglosan los valores de las cantidades proyectadas y los ingresos anuales correspondientes que reflejan una mejora sustancial en la rentabilidad corporativa. El resumen comparativo a continuación muestra los resultados entre el estado actual y la propuesta presentada.

Como puede verse claramente en la descripción dada previamente del modelo propuesto resultaría en una significativa mejora en la eficiencia del procedimiento de manufactura. La disminución del tiempo promedio por lote ha sido de 12.74%, es decir de 24:26 minutos a 21:20 minutos, permitiendo el incremento del número de lotes producido en aproximadamente un 12.50%, por lo tanto, pasaríamos de los 24 lotes que se producen actualmente a 27 lotes por día, obteniendo así un incremento de 3 lotes, es decir 180 adoquines más por jornada diaria. Esta optimización también contribuye a reducir de manera considerable los defectos en las unidades producidas, con una disminución del 64.17% de cantidades defectuosas, reduciendo de ocho unidades con defectos a solo tres unidades con defectos. Como resultado de ello el número de unidades efectivas por lote aumentaría en un 10.41%, pasando de 52 a 57 unidades.

Con un mayor nivel de producción y una disminución en los defectos encontrados en los productos fabricados cada año aumentaría en un 24%, alcanzaría un total de 369,360 unidades en comparación a las 297,377 actuales. En consecuencia, se generaría un incremento de ingresos anual de \$107,055.63 a \$132,969.60 lo que representa una ganancia adicional de \$25,913.97 es decir el equivalente al 24.21%.

El análisis económico indica que, implementado las mejoras propuestas se tendrá que invertir inicialmente \$9200, pero al aplicar un análisis de valor neto de inversión (VAN), se estima una ganancia de \$14,358.16 y una tasa interna de retorno de 182%, tal como se puede evidenciar en la Tabla 40 del presente documento, demostrando así que la inversión no solo se recuperará dentro del primer año, sino que se generarán ganancias adicionales, haciendo a este proyecto muy rentable.

Con respecto a la recuperación de la inversión para poner en marcha el proyecto, se evidencia que el VAN del excedente anual está en los \$23,558.16, es decir, un incremento de los ingresos de \$1963 por cada mes, recuperando asimismo la inversión en un tiempo de 5 meses, comprobando así que la propuesta es financieramente factible y con buena rentabilidad sobre el capital que se va a invertir.

Para finalizarla discusión, los resultados anticipados respaldan la hipótesis inicial donde un Modelo de Gestión Colaborativo con Lean Construction en una fábrica de adoquines mejorará significativamente la productividad y la rentabilidad en la empresa GUEFERZA, de mano con las estrategias propuestas, se pueden ver los resultados

positivos, además de ser viable económicamente al recuperar la inversión en un lapso corto de tiempo.

3.6. Enlace entre Lean Six Sigma (LSS) y Lean Construction

Las metodologías Lean Six Sigma (LSS) y Lean Construction, se enlazan al compartir un mismo objetivo, reducir los desperdicios y la mejora continua de los procesos, lo cual el ciclo DMAIC de LSS puede lograr al aplicar bien sus herramientas y planear adecuadamente sus estrategias en función del proyecto que está analizando. Los resultados obtenidos, como la reducción del 64.17% en las unidades defectuosas y el aumento del 24.21% en la producción anual, son un claro reflejo de la capacidad de LSS para reducir desperdicios (en este caso, defectos) y optimizar el uso de recursos, uno de los principios clave de Lean Construction.

Lean Construction, por su parte, se extiende más allá de la manufactura y aborda la eficiencia en los procesos constructivos en general. Este enfoque también busca la reducción de desperdicios, pero en el contexto de proyectos de construcción, lo que implica una gestión más eficiente del tiempo, los costos y los recursos, así como una mejora en la comunicación entre los diferentes actores del proyecto. En la empresa GUEFERZA, la implementación de LSS a través de la mejora en la producción de adoquines podría extenderse a la optimización de la cadena de suministro de materiales, la planificación de la producción, y la coordinación entre equipos, lo cual resuena fuertemente con los principios de Lean Construction.

En términos más específicos, los puntos fundamentales de la relación entre LSS y Lean Construction se pueden resumir en lo siguiente:

- **Minimización de Residuos:** Similar a Lean Construction, LSS se concentra en minimizar los desechos en diferentes aspectos como el tiempo empleado, materiales utilizados y la mano de obra necesaria. Además de esto, no podemos dejar de lado la importancia en reducir errores durante la fabricación de adoquines y mejorar los tiempos en el proceso de lotes, lo que demuestra un manejo más eficaz de los recursos, lo cual es un principio esencial dentro de la filosofía de Lean Construction.
- **Mejora Continua:** Tanto Lean Six Sigma y Lean Contruction impulsan la cultura de la mejora continua. El ciclo DMAIC, con sus cinco fases, se encuentra alineado

con la filosofía Lean Construction, ambos al buscar recurrentemente las maneras más eficientes para desarrollar los trabajos y optimizarlos.

- **Enfoque en la Productividad:** La productividad es un punto importante de tratar, durante el desarrollo de la investigación se utilizó el ciclo DMAIC aumentando en un 12.5% en la cantidad de lotes producidos diariamente, reflejando así un aumento significativo en la productividad y alineándose nuevamente con Lean Construction.
- **Enfoque en el Cliente:** Lean Construction tiene el objetivo de proporcionar un mayor valor al cliente mediante la eliminación de lo que no agrega valor, Lean Six Sigma también comparte este objetivo. Durante el desarrollo de la investigación se pudo ver que no solo se ha aumentado la rentabilidad, sino que con las herramientas de Lean Six Sigma se puede llegar a satisfacer de mejor manera las necesidades de los clientes, compartiendo así la misma filosofía que Lean Construction.
- **Trabajo en equipo y Cultura de Colaboración:** Tanto Lean Construction y Lean Six Sigma comparten una cultura de colaboración y trabajo en equipo. Las mejoras introducidas mediante LSS tienen el potencial de desarrollar la mentalidad del trabajo colaborativo en todos los involucrados en el proceso productivo, abrazando completamente los principios colaborativos de la filosofía de Lean Construction.

Con todo lo argumentado anteriormente, es lógica una transición de Lean Six Sigma hacia Lean Construction debido a que comparten la misma filosofía tal como: mejora continua; optimización de recursos disponibles; y agregar mayor valor al cliente, orientándose ambas metodologías a la eficiencia y la eliminación de los desechos durante las etapas del proyecto. En síntesis y al combinar ambas metodologías se generarían condiciones que permitirían que la empresa no solo perfeccionar la producción de adoquines sino también optimizar la logística de su suministro y la gestión de recursos en proyectos de construcción para obtener una ventaja competitiva en el mercado.

3.7. Limitaciones y Futuras Líneas de Investigación

3.7.1. Limitaciones

Durante el desarrollo de este estudio se encontraron ciertas restricciones que pudieron afectar la amplitud de los resultados obtenidos en gran medida. En primer lugar, la introducción del modelo de gestión colaborativo basado en Lean Six Sigma no se aplicó en un entorno práctico, lo que es netamente conceptual. Por lo tanto, puede haber una dificultad en la evaluación del impacto al momento de aplicarlo a condiciones operativas reales.

También hay que tomar en cuenta que, la recopilación de información se basó en metodologías como la observación directa y el uso de lista de cotejo verificada, lo cual, a pesar de permitir un análisis detallista de los procesos, no incorporó mediciones con herramientas automáticas, dando paso a errores humanos de medición. Además de eso, el estudio se enfocó únicamente en una compañía dedicada a la producción de adoquines en Quito, lo cual restringe el alcance de los resultados para otros sectores de la industria de la construcción.

3.1.1. Futuras Líneas de Investigación

Tras analizar los hallazgos obtenidos, se vislumbran diversas posibilidades para futuras investigaciones en este campo de estudio en particular. Una de las vías a explorar consistiría en poner en práctica y validar el modelo de gestión colaborativa en un entorno empresarial real para evaluar su impacto a largo plazo tanto en la eficiencia operativa como en la reducción de costes innecesarios. Asimismo, se debe ampliar el alcance del análisis a otras compañías del sector de la construcción sería pertinente, esto con la finalidad de determinar la viabilidad y el impacto del modelo en distintos entornos de trabajo.

Otra línea de investigación podría enfocarse en la integración de herramientas digitales, mediante monitoreo en tiempo real, que podría mejorar la precisión en la medición de la productividad y sus defectos. Para finalizar, es recomendable aplicar este modelo a un entorno real. Aplicando los hallazgos conceptuales de la presente investigación, y moldeando las estrategias en función de las necesidades de la organización, se puede llegar al aumento de la producción y una reducción del impacto ambiental en la fabricación de los adoquines.

CONCLUSIONES

- El estudio bibliométrico desarrollado en la presente investigación permitió identificar y analizar los descubrimientos más recientes e importantes de la literatura existente acerca de este tema, mediante la revisión sistemática de artículos se logró establecer una base conceptual adecuada y coherente que permitió conectar las variables de la investigación efectivamente. Esta revisión bibliométrica no solo permitió adquirir un conocimiento profundo de las estrategias utilizadas en Lean Construction, sino que también guio el diseño de la propuesta de gestión colaborativa basada en LSS en sintonía con las demandas y particularidades del entorno empresarial.
- La evaluación que se realizó del entorno externo a través del enfoque del modelo de las 5 Fuerzas desarrollado por Porter brinda la oportunidad de analizar las interacciones del mercado que inciden en GUEFERZA, una compañía especializada en la producción de adoquines en Quito. Esta valoración se centró en los siguientes aspectos: competencia entre empresas rivales; poder de negociación tanto de los proveedores como de los clientes; la presencia de los productos sustitutos; y la eventual aparición de los nuevos competidores, obteniendo un análisis FODA consistente que demostró lo competitivo que se ha vuelto el mercado de la distribución de adoquines en la capital.
- Tomando en cuenta la rivalidad de los competidores, figuras clave como Rhyno Materiales y KonKret, los cuales, mediante estrategias como precios económicos y productos de calidad, ya han establecido en el mercado una buena reputación. A pesar de lo anterior nombrado, GUEFERZA al tener gran experiencia fabricando y distribuyendo prefabricados de hormigón, además de contar con una buena cartera de clientes, todavía tiene ventaja frente a estos competidores que están surgiendo. Cambiando de tema al poder de los proveedores empresas como Holcim Ecuador y Cementos Chimborazo influyen en los costes y la calidad de los

insumos creando así la necesidad de establecer contratos a largo plazo para reducir riesgos.

- El análisis también resalta la fuerte capacidad de negociación de grandes clientes como empresas constructoras y autoridades locales que solicitan descuentos y términos favorables en contraposición a los individuos que tienen un impacto económico menor, pero juegan un papel importante en la fidelización del producto/servicio ofrecido por la empresa o negocio respectivo. Además, La presencia de productos alternativos como el asfalto y las eco-baldosas, que son tendencia en nuevos clientes, indica de manera urgente la adopción de técnicas innovadoras para distinguirse y mantenerse relevante en el mercado.
- La empresa GUEFERZA, ha logrado un crecimiento muy notorio en los últimos años, aumentando sus ingresos y creando empleo en la capital. Sin embargo, no ha habido crecimiento tecnológico últimamente para una adecuada gestión operativa. Como resultado, los controles de calidad se limitaron a evaluaciones visuales, estableciendo una cantidad específica de lotes por día sin supervisar el tiempo necesario para cada uno. Adicionalmente, la empresa no cuenta en su haber de documentación oficial sobre el procedimiento y directrices específicas que faciliten a los empleados comprender de manera precisa los pormenores y exigencias de cada fase de fabricación.
- A través de la entrevista directa y registros detallados de observación y datos recopilados durante el proceso de fabricación de adoquines en seis etapas claramente definidas se obtuvo una amplia información sobre el tema. Este proceso se llevó a cabo principalmente basándose en la experiencia y conocimientos adquiridos por el personal involucrado en la producción de adoquines y guiado especialmente por el operario más experimentado. Durante las seis observaciones realizadas en lotes de producción diferentes se determinó que un 13.95 % de las unidades presentaban defectos algunos considerables tolerables mientras que otros no lo eran. Además, se confirmó que el tiempo medio requerido por lote excedía en un 22.24% el estándar que se ha fijado para el procedimiento.
- Para abordarnos a las necesidades identificadas en el proceso de producción se ha aplicado la metodología Lean Six Sigma DMAIC que comprende cinco etapas

distintas tales como definir el problema encontrado medirlo analizarlo proponiendo mejoras y establecer controles para mantener los resultados deseados Durante la etapa de mejora se han calculado los beneficios que se esperan resaltando un aumento del 24.21% en la producción comparado a la situación actual. También, la metodología Six Sigma, aplicando adecuadamente las estrategias de mejora, lograría disminuir los adoquines defectuosos y aumentar la producción diaria de lotes hasta alcanzar un total anual de 369 360 unidades en comparación a las 297 377 que producen actualmente, incrementando 71 983 adoquines al año, demostrando así, una mejora sustancial en la eficacia del proceso.

- La implementación de las mejoras planteadas en la presente investigación no solo reduciría significativamente la pérdida de adoquines defectuosos, sino que también aumentaría la producción de lotes y generando una proyección adicional de ingresos de \$25,913.97 al año. Esto se puede comprobar analizando la viabilidad económica, con una inversión inicial de \$9200 y aplicando una tasa de descuento del 10 % el VAN resultante es de \$14,358.16 confirmando así la rentabilidad del proyecto. Además, el TIR refleja un 182 %, mostrando claramente la viabilidad financiera del proyecto teniendo un beneficio sustancial con respecto al capital inicial invertido. Este análisis destaca no solamente las ventajas operativas alcanzadas sino también el impacto positivo en la sostenibilidad económica de la empresa, con la finalidad de optimizar sus recursos y aumentar su competitividad en el mercado.

RECOMENDACIONES

- Para asegurar que la implementación sea exitosa es fundamental crear y compartir un manual que ofrezca instrucciones claras y detalladas para cada fase del proceso de producción de adoquines. Este manual tendría que presentar ilustraciones explicativas que ayuden a los trabajadores a comprender y aplicar correctamente las instrucciones, reduciendo así los errores y garantizando una producción más uniforme.
- Es importante garantizar que los trabajadores reciban formación periódica sobre las técnicas óptimas y el manejo adecuada de los equipos y herramientas para disminuir los fallos derivados de la carencia de conocimientos técnicos o de un uso inadecuada de las máquinas en etapas como la vibrocompactación y el fraguado.
- Se debe establecer un plan de mantenimiento preventivo detallado para los equipos empleados en las fases críticas del proceso productivo tal como la vibrocompactación y el fraguado y curado, con la finalidad de disminuir las averías de los equipos y extender su tiempo de vida, garantizando así que las operaciones sean más eficientes y menos propensas a defectos.
- Es recomendable implementar la metodología Lean Six Sigma en las etapas de medición y mejora para seguir descubriendo posibles áreas que necesiten mejoramiento y optimización. Esto ayudará a mantener la disminución de defectos y a aumentar la eficiencia en la producción, resultando en un incremento en la productividad.
- La inversión en tecnologías que permitan optimizar la precisión en las diferentes etapas del proceso de producción es crucial, sobre todo en aspectos críticos como la medición de materiales y la supervisión de la calidad del producto final.
- Fomentar una cultura dentro de la organización que aprecie el crecimiento constante mediante la participación activa de cada uno de los empleados en el

proceso de mejora continua es muy fundamental. Involucrar a todos los niveles de la empresa en la aplicación de mejoras sugeridas permite la creación de un compromiso hacia los resultados y garantiza una mayor adopción de nuevas formas de trabajo.

REFERENCIAS

- Albalkhy, W., & Sweis, R. (2021a). Barriers to adopting lean construction in the construction industry: a literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 12(2), 210–236. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2018-0144>
- Albalkhy, W., & Sweis, R. (2021b). Barriers to adopting lean construction in the construction industry: a literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 12(2), 210–236. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2018-0144>
- Albuquerque, F., Torres, A. S., & Berssaneti, F. T. (2020). Lean product development and agile project management in the construction industry. *Revista de Gestão*, 27(2), 135–151. <https://doi.org/10.1108/REGE-01-2019-0021>
- Álvarez, J. L., & Jurgenson, G. (2012). *Cómo hacer Investigación Cualitativa*. Paidós Mexicana.
- Anh, V. N. M., Anh, H. K. N., Huy, V. N., Huy, H. G., & Ly, M. (2023). Improve Productivity and Quality Using Lean Six Sigma: A Case Study. *International Research Journal on Advanced Science Hub*, 5(03), 71–83. <https://doi.org/10.47392/irjash.2023.016>
- Aslam, M., Baffoe-Twum, E., Ahmed, M., & Ulhaq, A. (2024). Unveiling Effectiveness of Lean Construction Practices: A Comprehensive Study through Surveys and Case Studies. *CIVIL ENGINEERING JOURNAL-TEHRAN*, 10(4), 1145–1158. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-04-09>
- Aslam, M., Gao, Z., & Smith, G. (2021). Development of lean approaching sustainability tools (Last) matrix for achieving integrated lean and sustainable construction. *Construction Economics and Building*, 21(3), 176–197. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.V21I3.7653>
- Babbie, E. (2013). *The Practice of Social Research* (E. Mitchell, Ed.; 13th ed.). Cengage.

Baena Paz, G. (2017). *Metodología de la Investigación* (3rd ed.). Grupo Editorial Patria

Barrios-Hernández, K. del C., Contreras-Salinas, J. A., & Olivero-Vega, E. (2019). La Gestión por Procesos en las Pymes de Barranquilla: Factor Diferenciador de la Competitividad Organizacional. *Información Tecnológica*, 30(2), 103–114. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000200103>

Bayhan, H. G., Demirkesen, S., Zhang, C., & Tezel, A. (2023). A lean construction and BIM interaction model for the construction industry. *Production Planning and Control*, 34(15), 1447–1474. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.2019342>

Benachio, G. L. F., Freitas, M. do C. D., & Tavares, S. F. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121046. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>

Carrizo, D., & Moller, C. (2018). Estructuras metodológicas de revisiones sistemáticas de literatura en Ingeniería de Software: un estudio de mapeo sistemático. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 26, 45–54. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000500045>

Carroll, C. T. (2013). *Six Sigma for Powerful Improvement*. Productivity Press. <https://doi.org/10.1201/b14806>

Chinchay Ramirez, B. P., Muñoz Pérez, S. P., Marín Bardales, N. H., & García Chumacera, J. M. (2024). Application of the Lean Construction methodology in an urban paving work. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 32. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052024000100202>

Cieza Mostacero, S. E., Bravo Huivin, E. K., & Flores Escudero, R. (2019). Gestión por Procesos y su influencia en la Administración Documentaria de una Constructora. *Proceedings of the 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities.”* <https://doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.123>

Cóndor Chano, P. D., & Coque Paucarima, A. V. (2021a). *PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC 6 SIGMA PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN DE ADOQUINES*

EN LA EMPRESA CR SOLUTION EN QUITO, DISTRITO METROPOLITANO.

Universidad Politécnica Salesiana.

- Cóndor Chano, P. D., & Coque Paucarima, A. V. (2021b). *Propuesta de aplicación de la metodología DMAIC Six Sigma para mejorar la productividad en los procesos de fabricación de adoquines en la empresa CR Solution en Quito, Distrito Metropolitano*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Creswell, J. (2003). *Research Desing. Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods* (University of Nebraska, Ed.; 2nd ed.). Sage Publications.
- Del Cid, A., Méndez, R., & Sandoval, F. (2011). *Investigación. Fundamentos y Metodología*. Pearson Educación .
- Delgado Seclén, J. G., & Calsina Miramira, W. (2020). Modelo de gestión por procesos para mejorar el desempeño en el área Agri-Food. *Industrial Data*, 22(2), 173–184. <https://doi.org/10.15381/idata.v22i2.15568>
- Deniz, N., & Tükenmez, İ. (2024). Lean Six Sigma Studies in Türkiye: A Literature Review. *Gazi University Journal of Science*, 37(2), 875–893. <https://doi.org/10.35378/gujs.1176313>
- Ecuador Chequea. (2024). *La burocracia frena la construcción en Quito*. Recuperado de <https://ecuadorchequea.com/la-burocracia-frena-la-construccion-en-quito/>
- El Comercio. (2024). *Efectos del sector de la construcción en la economía de Ecuador*. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/efectos-sector-construccion-economia-ecuador-indicadores-caida.html>
- Felizzola Jiménez, H., Hualpa Zuñiga, A., Arango Londoño, C., Rodríguez Rativa, J., & Rodríguez Cortes, M. (2023). Aplicación de Seis Sigma para la Reducción de Defectos en la Fabricación de Muebles de Madera en una PYME. *Dirección y Organización*, 81, 52–68. <https://doi.org/10.37610/dyo.v0i81.652>
- Flick, U. (2007). *Diseño de Investigación Cualitativa*. SAGE Publications.
- Garcés, G., & Peña, C. (2023). A Review on Lean Construction for Construction Project Management. *Revista Ingenieria de Construccion*, 38(1), 43–60. <https://doi.org/10.7764/RIC.00051.21>

- Gisbert Soler, V., Pérez Molina, A. I., Pérez Bernabéu, E., Calabuig Valor, M., Pons Vidal, B., Campoy Brotons, F. Á., Almería Domínguez, J., San Antonio Ignoto, M. T., Kou-Vah Laurent, A. M., Castellano Lendínez, L., & Rojas Lema, S. (2018). *Cuadernos de investigación aplicada*. Editorial Científica 3Ciencias.
<https://doi.org/10.17993/EcoOrgyCso.2018.47>
- González Martínez, J. (2003). *La Producción en Serie y la Producción Flexible* (S. Guzmán Bofill, Ed.; 1st ed., Vol. 1). UAM Azcapotzalco.
- Govindan, K., Demartini, M., Formentini, M., Taticchi, P., & Tonelli, F. (2024). Unravelling and mapping the theoretical foundations of sustainable supply chains: A literature review and research agenda. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 189, 103685.
<https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103685>
- Guevara Patiño, R. (2016). El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos? *Folios*, 1(44), 165–179. <https://doi.org/10.17227/01234870.44folios165.179>
- Gutiérrez Castillo, M. C., Torres Pardo, F. M., & Morales Suen, L. A. (2020). Aplicación del Sistema Kanban para aumentar la productividad del área de producto terminado de una empresa pesquera. *INGnosis Revista de Investigación Científica*, 6(2). <https://doi.org/10.18050/ingnosis.v6i2.2078>
- H. Zala, S., N. Jadeja, N., Chothani, H. G., G. Vyas, H., J. Marsonia, D., & D. Mehta, N. (2024). Application of Lean Six Sigma Tools for Performance Improvement in an Automobile Sector SME. *International Journal of Mechanical Engineering*, 11(7), 1–12. <https://doi.org/10.14445/23488360/IJME-V11I7P101>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (M. Rocha Martínez, Ed.; 6th ed.). McGrawHill.
- Huerta Estévez, A. (2021). Reducción del manejo de materiales en línea en una ensambladora de autos mediante la aplicación de lean manufacturing. *Ingeniería Industrial*, 40, 49–60. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.4880>
- Jimenez, L. (2020). Impacto de la Investigación Cuantitativa en la Actualidad . *ReserchGate*.

- Kifokeris, D., & Tezel, A. (2023). Blockchain and lean construction: an exploration of bidirectional synergies and interactions. *Architectural Engineering and Design Management*. <https://doi.org/10.1080/17452007.2023.2263873>
- Kumar, P., Bhamu, J., Goel, S., & Singh, D. (2024). Interpretive structural modeling of lean six sigma critical success factors in perspective of industry 4.0 for Indian manufacturing industries. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 15(8), 3776–3793. <https://doi.org/10.1007/s13198-024-02375-y>
- Kvale, S., & Brinkmann, S. (2009). *InterViews: Learning the craft of qualitative research interviewing* (1st ed.). SAGE.
- Lameijer, B. A., Pereira, W., & Antony, J. (2021). The implementation of Lean Six Sigma for operational excellence in digital emerging technology companies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(9), 260–284. <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2020-0373>
- Limenih, Z. M., Demisse, B. A., & Haile, A. T. (2022). The Usefulness of Adopting the Last Planner System in the Construction Process of Addis Ababa Road Projects. *Advances in Civil Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7846593>
- Llaque Fernández, G., Escobar Rodriguez, E., Zuñiga Ponce, K., & Angeles Quiñones, N. (2021). Gestión por Procesos en la Logística en una Empresa PYME del Sector Construcción. *The 1st LACCEI International Multi-Conference on Entrepreneurship, Innovation, and Regional Development: “Ideas to Overcome and Emerge from the Pandemic Crisis.”* <https://doi.org/10.18687/LEIRD2021.1.1.15>
- Mahajan, R., Lim, W. M., Sareen, M., Kumar, S., & Panwar, R. (2023). Stakeholder theory. *Journal of Business Research*, 166, 114104. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114104>
- Marín-Calderón, A. V., Valenzuela-Galván, M., Cuamea-Cruz, G., & Brau-Ávila, A. (2023). Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 24(1). <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2023.24.1.007>

- Mohammadi, A., Igwe, C., Amador-Jimenez, L., & Nasiri, F. (2022). Applying lean construction principles in road maintenance planning and scheduling. *International Journal of Construction Management*, 22(12), 2364–2374.
<https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1788758>
- Montgomery, D. (2020). *Introduction to statistical quality control* (J. Brady, Ed.; 8th ed.).
- Mortada, A., & Soulhi, A. (2023). Improvement of Assembly Line Efficiency by Using Lean Manufacturing Tools and Line Balancing Techniques. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 17(4), 89–109.
<https://doi.org/10.12913/22998624/169257>
- Muyulema Allaica, J. C., Loor Santana, K. I., & Pucha Medina, P. M. (2024). *Eco-innovación para el desarrollo y sostenibilidad*. Fondo Editorial de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago, Jesús María Semprum (UNESUR).
<https://doi.org/10.59899/eco-inno>
- Narváez-Narváez, J.-C., Pardo-Calvache, C.-J., & Orozco-Garcés, C.-E. (2023). Deuda de la documentación en el desarrollo ágil de software: mapeo sistemático de la literatura. *Revista Científica*, 46(1), 107–121.
<https://doi.org/10.14483/23448350.19670>
- Pérez-Domínguez, L. A., Pérez-Blanco, J. J., García-Villalba, L. A., & Gómez-Zepeda, P. I. (2020). Aplicación de metodología DMAIC en la resolución de problemas de calidad. *Mundo FESC*, 10(19), 55–66. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.508>
- Petersen, K., Vakkalanka, S., & Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, 64, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.03.007>
- Pongboonchai-Empl, T., Antony, J., Garza-Reyes, J. A., Komkowski, T., & Tortorella, G. L. (2024). Integration of Industry 4.0 technologies into Lean Six Sigma DMAIC: a systematic review. *Production Planning & Control*, 35(12), 1403–1428. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2188496>
- Rahman, A., Shaju, S. U. C., Sarkar, S. K., Hashem, M. Z., Hasan, S. M. K., & Islam, U. (2018). Application of Six Sigma using Define Measure Analyze Improve

- Control (DMAIC) methodology in Garment Sector. *Independent Journal of Management & Production*, 9(3), 810–826. <https://doi.org/10.14807/ijmp.v9i3.732>
- ResearchGate. (2024). *Estudio de caso: Lean Six Sigma como metodología para mejorar la producción en la industria ecuatoriana*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/384597760_ESTUDIO_DE_CASO_LEAN_SIX_SIGMA_COMO_METODOLOGIA_PARA_MEJORAR_LA_PRODUCION_EN_LA_INDUSTRIA_ECUATORIANA
- Reyes-Soriano, F. E., Muyulema-Allaica, J. C., Menéndez-Zaruma, C. M., Lucin-Borbor, J. M., Balón-Ramos, I. D. R., & Herrera-Brunett, G. A. (2022). Bibliometric Analysis on Sustainable Supply Chains. *Sustainability*, 14(20), 13039. <https://doi.org/10.3390/su142013039>
- Rifqi, H., de la Torre Díez, I., Caro Montero, E., & Silva Alvarado, E. (2024). The Interplay of Lean Six Sigma, Industry 4.0, and Dynamic Capabilities: Pathways to Sustainable Competitive Advantage in North African Context. *IEEE Access*, 12, 67641–67664. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3400166>
- Rodríguez Jiménez, A., & Pérez Jacinto, A. O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 82, 175–195. <https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>
- Romo, R., Alejo-Reyes, A., & Orozco, F. (2024). Statistical Analysis of Lean Construction Barriers to Optimize Its Implementation Using PLS-SEM and PCA. *Buildings*, 14(2), 486. <https://doi.org/10.3390/buildings14020486>
- Salifu Osumanu, I., Aigbavboa, C. O., & Thwala, D. W. (2022). The Impact of Lean Thinking on Organizational Learning. *AFRICAN JOURNAL OF APPLIED RESEARCH*, 8(2), 315–321. <https://doi.org/10.26437/ajar.31.10.2022.21>
- Salvatierra, J. L., García, A., & Aracena, P. (2020). *Towards a Lean Behaviour Evaluation System in Latin American Construction*. 361–372. <https://doi.org/10.24928/2020/0035>
- Sarhan, J. G., Xia, B., Fawzia, S., Karim, A., Olanipekun, A. O., & Coffey, V. (2020). Framework for the implementation of lean construction strategies using the interpretive structural modelling (ISM) technique: A case of the Saudi construction

- industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(1), 1–23.
<https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2018-0136>
- Shaqour, E. N. (2022). The impact of adopting lean construction in Egypt: Level of knowledge, application, and benefits. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(2).
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.07.005>
- Shokri, A., Antony, J., & Garza-Reyes, J. A. (2022). A new way of environmentally sustainable manufacturing with assessing transformation through the green deployment of Lean Six Sigma projects. *Journal of Cleaner Production*, 351.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131510>
- Spiller, M., Moretti, M., De Paepe, J., & Vlaeminck, S. E. (2022). Environmental and economic sustainability of the nitrogen recovery paradigm: Evidence from a structured literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, 184, 106406.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106406>
- Tezel, A., Taggart, M., Koskela, L., Tzortzopoulos, P., Hanahoe, J., & Kelly, M. (2020). Lean construction and BIM in small and medium-sized enterprises (SMEs) in construction: A systematic literature review. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 47(2), 186–201. <https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0408>
- Wang, C.-N., Nguyen, T.-D., Thi Nguyen, T.-T., & Do, N.-H. (2024). The performance analysis using Six Sigma DMAIC and integrated MCDM approach: A case study for microlens process in Vietnam. *Journal of Engineering Research*.
<https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.04.013>
- Xing, W., Hao, J. L., Qian, L., Tam, V. W. Y., & Sikora, K. S. (2021). Implementing lean construction techniques and management methods in Chinese projects: A case study in Suzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, 286.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124944>
- Yin, R. K. (2018a). *Case Study Research and Applications* (L. Fagotstein, E. Wells, & C. Neve, Eds.; 6th ed.). SAGE Publications.
- Yin, R. K. (2018b). *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. Sage Publication, 11(1), 2016–2019.
- Yu, C.-M., Huang, T.-H., Chen, K.-S., & Huang, T.-Y. (2022). Construct Six Sigma DMAIC Improvement Model for Manufacturing Process Quality of Multi-

Characteristic Products. *Mathematics*, 10(5), 814.

<https://doi.org/10.3390/math10050814>

Zhao, J. Y., Zheng, Y., Seppänen, O., Tetik, M., & Peltokorpi, A. (2021). Using Real-Time Tracking of Materials and Labor for Kit-Based Logistics Management in Construction. *FRONTIERS IN BUILT ENVIRONMENT*, 7.

<https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.713976>

ANEXOS

Anexo 1. Guía de entrevista

Guía de entrevista

Objetivo de la entrevista. Analizar y comprender las etapas clave, las características distintivas y otros aspectos relevantes del proceso de fabricación de adoquines de hormigón, incluyendo las especificaciones técnicas y operativas que definen su desarrollo. Además, se busca identificar las particularidades y desafíos que puedan influir negativamente en la calidad del producto final, como la variabilidad en los materiales, ineficiencias en los procedimientos o limitaciones en la capacidad operativa, con el fin de proponer mejoras orientadas a optimizar el rendimiento del proceso.

Datos del Entrevistado

Edad:

Género:

Cargo en la Empresa:

Respuestas:

1. ¿Qué actividades se llevan a cabo en cada etapa del proceso de producción de adoquines y cómo se organizan?
2. ¿Cuáles son los materiales y las cantidades necesarias para elaborar un lote de adoquines? ¿Cuántas unidades se producen con estas proporciones?
3. ¿Cuántas personas participan en el proceso de producción y cuáles son sus roles específicos en cada etapa?
4. Según su experiencia, ¿cuáles son los principales problemas que enfrenta el proceso de producción, qué defectos suelen presentar los adoquines terminados, y cuántos lotes se producen semanalmente?

5. ¿Cuáles son los inconvenientes que se presentan durante el proceso de fabricación y qué tipos de defectos suelen observarse en los adoquines producidos?
6. ¿Qué factores afectan la cantidad de lotes que se pueden producir semanalmente?
7. ¿Qué controles de calidad se implementan durante las distintas etapas del proceso de fabricación, y cómo garantizan el cumplimiento de los estándares establecidos?

Anexo 2. Registro de observación de proceso

Instrumento diseñado para recopilar información detallada sobre cada etapa del proceso de producción de adoquines de hormigón. Este formato permite documentar aspectos clave como los tiempos de ejecución, los recursos empleados, las actividades involucradas y cualquier incidencia que pueda afectar la eficiencia o calidad del proceso. Además, facilita el análisis sistemático de los datos recolectados, proporcionando una base sólida para identificar áreas de mejora y optimizar las operaciones.

Etapa	Descripción de la etapa	Recursos utilizados
		Materiales /insumos:
		Recursos humanos:
		Materiales /insumos:
		Recursos humanos:
		Materiales /insumos:
		Recursos humanos:
		Materiales /insumos:
		Recursos humanos:

Anexo 3. Registro de datos del proceso

Instrumento estructurado empleado para registrar de manera precisa las observaciones realizadas durante el proceso de fabricación de adoquines. Este formato permite documentar detalles relevantes como las condiciones de trabajo, los flujos de operación, las interacciones del personal, el uso de maquinaria, y cualquier anomalía o incidencia detectada. Su diseño está orientado a capturar información clave para analizar el desempeño del proceso, identificar posibles cuellos de botella y proponer mejoras enfocadas en la eficiencia y la calidad.

N.º de Lote Observaciones		Peso total materia prima (kg):			Peso total lote (kg):	
	ETAPA	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo defecto	Novedades

Anexo 4. Tablas de defectos encontrados en las observaciones

A continuación, se expone una tabla que sintetiza los defectos identificados durante las observaciones al proceso de fabricación de adoquines. En esta se detallan las anomalías detectadas, su frecuencia y las posibles causas asociadas, proporcionando una base para el análisis de las áreas críticas que requieren intervención:

	Preparación de materiales	Dosificación	Mezclado	Compactado y vibrado			Retiro de adoquines	Fraguado y curado		
Revisión	Clasificación de la materia prima	Mezclal dosificada	Mezclal no homogénea	Resistencia	Forma	Tamaño	Rotura	Porosidad	Absorción	Totales
Lote #1			1	1		1	1	1	1	6
Lote #3				1	2	1	1	2	1	8
Lote #6		1	1	1		2	2	1	1	9
Lote #8		1		1		1	2	1		6
Lote #10		1	1	2		1	1	1	1	8
Lote #13		1		1		1	2	1		6
Total	0	4	3	7	2	7	9	7	4	43

Los datos recolectados se organizaron y consolidaron según las etapas del proceso de fabricación, permitiendo una identificación estructurada de los defectos y sus posibles causas. A continuación, se presenta un desglose detallado de los resultados:

Defectos detectados por cada etapa del proceso							
Revisiones	Preparación de materiales	Dosificación	Mezclado	Compactado y vibrado	Retiro de adoquines	Fraguado y curado	Defectos totales
Lote #1	0		1	2	1	2	6
Lote #3	0			4	1	3	8
Lote #6	0	1	1	3	2	2	9
Lote #8	0	1		2	2	1	6
Lote #10	0	1	1	3	1	2	8
Lote #13	0	1		2	2	1	6
Total	0	4	3	16	9	11	43

Anexo 5. Tablas de excedentes de tiempos encontradas en la observación

La siguiente tabla detalla los tiempos registrados para cada etapa del proceso en los diferentes lotes observados. Además, incluye los tiempos totales por lote y los valores promedio, máximo y mínimo correspondientes a cada etapa, proporcionando un análisis integral de la eficiencia del proceso:

Revisiones	Preparación de materiales	Dosificación	Mezclado	Compactado y vibrado	Retiro de adoquines	Fraguado y curado	Totales	
Tiempo esperado	2:00	3:00	6:00	4:00	4:00	1:00	20:00	
Lote #1	2:30	3:30	6:30	4:30	4:30	1:30	23:00	15,00 %
Lote #3	3:00	4:00	7:00	5:00	5:00	1:18	25:18	26,50 %
Lote #6	3:00	3:30	7:00	5:00	4:30	1:05	24:05	20,42 %
Lote #8	2:30	3:30	6:30	5:30	4:30	1:15	23:45	18,75 %
Lote #10	3:00	4:00	7:00	4:30	5:00	1:19	24:49	24,08 %
Lote #13	3:00	4:30	7:30	5:00	4:30	1:14	25:44	28,67 %
PROMEDIO	2:50	3:50	6:55	4:55	4:40	1:16	24:26	22,24 %
Máximo	3:00	4:30	7:30	5:30	5:00	1:30	25:44	
Mínimo	2:30	3:30	6:30	4:30	4:30	1:05	23:00	

A partir de la tabla precedente, se identificaron variaciones en los tiempos de cada etapa del proceso. Todas las diferencias se encuentran resaltadas en rojo, indicando que los tiempos registrados exceden las medidas estándar estimadas. Estos resultados evidencian áreas críticas de ineficiencia que requieren atención para optimizar el flujo productivo.

Revisiones	Preparación de materiales	Dosificación	Mezclado	Compactado y vibrado	Retiro de adoquines	Fraguado y curado
Lote #1	0:30	0:30	0:30	0:30	0:30	0:30
Lote #3	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	0:18
Lote #6	1:00	0:30	1:00	1:00	0:30	0:05
Lote #8	0:30	0:30	0:30	1:30	0:30	0:15
Lote #10	1:00	1:00	1:00	0:30	1:00	0:19
Lote #13	1:00	1:30	1:30	1:00	0:30	0:14

Las diferencias, expresadas de manera porcentual respecto al tiempo estándar estimado, se presentan en la siguiente tabla, proporcionando una visión cuantitativa de las desviaciones identificadas en cada etapa del proceso:

Revisiones	Preparación de materiales	Dosificación	Mezclado	Compactado y vibrado	Retiro de adoquines	Fraguado y curado
Lote #1	25,00%	16,67%	8,33%	12,50%	12,50%	50,00%
Lote #3	50,00%	33,33%	16,67%	25,00%	25,00%	30,00%
Lote #6	50,00%	16,67%	16,67%	25,00%	12,50%	8,33%
Lote #8	25,00%	16,67%	8,33%	37,50%	12,50%	25,00%
Lote #10	50,00%	33,33%	16,67%	12,50%	25,00%	31,67%
Lote #13	50,00%	50,00%	25,00%	25,00%	12,50%	23,33%

Anexo 6. Evidencia fotográfica de cada etapa del proceso de producción

1) Preparación de materiales



2) Dosificación



3) Mezclado



4) Compactado y vibrado



5) Retiro de adoquines



6) Fraguado y curado

