



# POSGRADOS

Maestría en

## PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC- SO -30 -No. 506 - 2019

Opción de Titulación:  
PROYECTO DE DESARROLLO

TEMA:

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

Autor  
Patricio David Córdor Chano

Director  
Augusto Vinicio Coque Paucarima

QUITO - ECUADOR  
2022

***Autor:***



***Patricio David Córdor Chano***

Licenciado

Candidato a Magister en Producción y Operaciones Industriales  
por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.

@est.ups.edu.ec

***Dirigido por:***



***Augusto Vinicio Coque Paucarima***

Ingeniero

Magister en Diseño y  
manufactura asistidos por  
computadora

acoque@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2021 Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO – ECUADOR – SUDAMÉRICA

CÓNDOR CHANO PATRICIO DAVID

***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.***

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo proponer la 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. En el primer capítulo se abordó el marco referencial con información referente a DMAIC Seis sigma. El segundo capítulo contiene la metodología de investigación. Se optó por una investigación de diseño no experimental, de alcance descriptivo, enfoque cuantitativo y de corte transversal. Para el levantamiento de la información se utilizaron fichas de recolección de datos para la medición de información sobre el proceso de producción, y entrevistas a trabajadores. El tercer capítulo presenta el análisis e interpretación de resultados. Los datos levantados mostraron que la empresa analizada no cuenta con un documento del proceso productivo y tiene una ineficiencia del 15 % en los lotes de producción, evidenciada en unidades defectuosas, tanto aceptables como inaceptables, y el tiempo promedio toma 7,7 % más de lo establecido para ese proceso. El cuarto capítulo presenta la propuesta de implementación de DMAIC Seis sigma. Por medio de sus 5 etapas, esta metodología permitió plantear acciones de mejora, cuyos resultados fueron analizados y mostraron un incremento del 17,6 % en los ingresos anuales de la entidad, aplicando una inversión cercana a los 7 mil dólares, que sería recuperada en 2 meses con el excedente estimado.

**Palabras claves:** Metodología DMAIC, Seis sigma, Calidad, Productividad, Proceso de Fabricación

## **ABSTRACT**

The objective of this study was propose the application of DMAIC 6 sigma methodology to improve productivity in the paver manufacturing processes in the CR Solution company in Quito, Metropolitan District. In first chapter, the referential framework was discussed with theoretical information about DMAIC Six sigma. The second chapter contains the research methodology. Was chosen a non-experimental design research, with a descriptive scope, quantitative approach and cross section. For the collection of information, were used data collection records to measure information about the production process, and were conducted interviews with workers. The third chapter presents the analysis and interpretation of results. The data collected showed that the analyzed company does not have a production process document and has an inefficiency of 15% in the production batches, evidenced in defective units, both acceptable and unacceptable, and the average process time takes 7.7% more than established. The fourth chapter presents the DMAIC Six sigma implementation proposal. Through its 5 stages, this methodology showed improvement actions, whose results were analyzed and showed an increase of 17.6% in the annual income of the entity, applying an investment close to 7 thousand dollars, which would be recovered in 2 months with the estimated surplus.

**Keywords:** DMAIC Methodology, Six sigma, Quality, Productivity, Manufacturing Process.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	4
OBJETO DE ESTUDIO .....	5
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
OBJETIVOS .....	5
OBJETIVO GENERAL .....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS CAPÍTULOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	7
CAPÍTULO 1 .....	8
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO SOBRE DMAIC 6 SIGMA Y PRODUCTIVIDAD.....	8
1.1 Introducción .....	8
1.2 Marco referencial de la investigación .....	8
1.2.1 Antecedentes de la investigación .....	8
1.2.2 DMAIC 6 SIGMA.....	10
1.2.2.1 Diferencias entre Seis sigma y métodos tradicionales .....	12
1.2.2.2 Beneficios de Seis sigma.....	14
1.2.3 Fases de Seis sigma DMAIC.....	15
1.2.3.1 Definir .....	16
1.2.3.2 Medir.....	17
1.2.3.3 Analizar.....	18
1.2.3.4 Mejorar (improve).....	20
1.2.3.5 Controlar .....	20
1.2.4 Aplicación de DMAIC Seis sigma.....	22
1.3 Fundamentación de la investigación .....	24
1.3.1 Fundamentación legal .....	25
1.4 Conclusiones del capítulo .....	26

CAPÍTULO 2 .....	27
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	27
2.1 Introducción .....	27
2.2 Diseño de la investigación .....	27
2.3 Modalidad de la investigación .....	28
2.4 Tipo de investigación .....	28
2.5 Métodos de investigación.....	28
2.6 Técnicas e instrumentos .....	28
2.7 Operacionalización de las variables .....	29
2.8 Población y muestra .....	30
2.9 Técnicas e instrumentos .....	30
2.10 Conclusiones del capítulo .....	30
CAPÍTULO 3 .....	32
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	32
3.1 Introducción .....	32
3.2 Descripción de la situación actual.....	32
3.2.1 Entrevista.....	32
3.2.2 Estructura de la empresa .....	34
3.2.3 Esquema distributivo de las instalaciones.....	36
3.2.4 Mapa de procesos de la empresa.....	36
3.2.5 Levantamiento del proceso .....	37
3.2.6 Diagrama del proceso.....	39
3.2.7 Cursograma analítico del proceso .....	40
3.2.8 Especificaciones del producto.....	41
3.2.9 Observaciones realizadas al proceso .....	42
3.3 Conclusiones del capítulo .....	48
CAPÍTULO 4 .....	49
PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE ADOQUINES.....	49
4.1 Introducción .....	49
4.2 Estructura de la propuesta .....	50
4.3 Desarrollo de la propuesta.....	51
4.3.1 Etapa Definir (D).....	52
4.3.1.1 Diagrama SIPOC.....	52

4.3.1.2	Identificación de las etapas críticas del proceso .....	53
4.3.1.3	Definición del problema.....	57
4.3.1.4	Carta del proyecto .....	57
4.3.2	Etapa Medir (M).....	58
4.3.2.1	Selección de los aspectos a medir .....	59
4.3.2.2	Recopilación de datos .....	59
4.3.2.3	Principales defectos.....	59
4.3.2.4	Tiempo del proceso .....	60
4.3.2.5	Medición del nivel Seis sigma .....	61
4.3.3	Etapa Analizar (A) .....	63
4.3.3.1	Diagrama de causa - efecto .....	63
4.3.3.2	Matriz AMFE .....	64
4.3.3.3	Factores que originan los defectos .....	69
4.3.4	Etapa Mejorar (I).....	69
4.3.4.1	Acciones de mejora.....	70
4.3.4.2	Análisis de factibilidad.....	71
4.3.4.3	Presupuesto de mejora.....	73
4.3.4.4	Manual del proceso productivo.....	74
4.3.4.5	Capacitación del personal .....	74
4.3.4.6	Mantenimiento maquinaria .....	75
4.3.4.7	Control de calidad y producción .....	75
4.3.4.8	Evaluación de mejoras .....	75
4.3.5	Etapa Controlar (C).....	78
4.3.5.1	Implementación de las acciones de mejora.....	78
4.3.5.2	Monitoreo del proceso.....	80
4.3.5.3	Acciones de corrección .....	81
4.4	Análisis económico .....	82
4.5	Comprobación de la hipótesis .....	83
4.6	Conclusiones del capítulo .....	84
	CONCLUSIONES .....	86
	RECOMENDACIONES .....	88
	REFERENCIAS .....	89
	ANEXOS.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Proceso básico de elaboración de adoquines.....	3
<b>Figura 2.</b> Pasos para la aplicación de DMAIC.....	23
<b>Figura 3.</b> Árbol del problema.....	24
<b>Figura 4.</b> Organigrama de personal de la empresa.....	35
<b>Figura 5.</b> Esquema de las instalaciones.....	36
<b>Figura 6.</b> Mapa de procesos .....	37
<b>Figura 7.</b> Diagrama sinóptico del proceso productivo .....	39
<b>Figura 8.</b> Distancias recorridas en el proceso productivo .....	41
<b>Figura 9.</b> Esquema de la propuesta .....	51
<b>Figura 10.</b> Diagrama SIPOC del proceso productivo [22].....	52
<b>Figura 11.</b> Diagrama de Pareto del tipo de defectos en el proceso .....	53
<b>Figura 12.</b> Diagrama de Pareto de defectos por etapa del proceso .....	54
<b>Figura 13.</b> Diagrama de Pareto de defectos por lote observado.....	54
<b>Figura 14.</b> Diagrama de Pareto de excedentes de tiempo por etapa del proceso .....	55
<b>Figura 15.</b> Diagrama de Pareto de excedentes de tiempo por lote observado .....	56
<b>Figura 16.</b> Diagrama de causa - efecto.....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Maquinaria y talento humano de la empresa.....	4
<b>Tabla 2.</b> Proporción de errores por cada millón de unidades en niveles de sigma....	12
<b>Tabla 3.</b> Comparación entre ciclo PDCA y DMAIC .....	13
<b>Tabla 4.</b> Comparación entre enfoques tradicional y Seis sigma de la calidad .....	13
<b>Tabla 5.</b> Comparación de resultados en un enfoque clásico y Seis sigma .....	14
<b>Tabla 6.</b> Preguntas clave para cada etapa de DMAIC.....	22
<b>Tabla 7.</b> Matriz de operacionalización de variables.....	29
<b>Tabla 8.</b> Población y muestra .....	30
<b>Tabla 9.</b> Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	30
<b>Tabla 10.</b> Levantamiento del proceso .....	38
<b>Tabla 11.</b> Cursograma analítico del proceso productivo.....	40
<b>Tabla 12.</b> Especificaciones del adoquín .....	42
<b>Tabla 13.</b> Primera observación a un lote del proceso.....	43
<b>Tabla 14.</b> Segunda observación a un lote del proceso.....	43
<b>Tabla 15.</b> Tercera observación a un lote del proceso .....	44
<b>Tabla 16.</b> Cuarta observación a un lote del proceso.....	44
<b>Tabla 17.</b> Quinta observación a un lote del proceso .....	45
<b>Tabla 18.</b> Sexta observación a un lote del proceso .....	45
<b>Tabla 19.</b> Séptima observación a un lote del proceso .....	46
<b>Tabla 20.</b> Octava observación a un lote del proceso .....	46
<b>Tabla 21.</b> Novena observación a un lote del proceso.....	47
<b>Tabla 22.</b> Décima observación a un lote del proceso.....	47
<b>Tabla 23.</b> Carta del proyecto .....	58
<b>Tabla 24.</b> Nivel Seis sigma del resultado obtenido .....	62
<b>Tabla 25.</b> Nivel Seis sigma del resultado obtenido .....	66
<b>Tabla 26.</b> Siglas y niveles de Seis sigma en la tabla 24 .....	69
<b>Tabla 27.</b> Acciones de mejora.....	70
<b>Tabla 28.</b> Factibilidad de las acciones de mejora.....	72
<b>Tabla 29.</b> Presupuesto de las acciones de mejora.....	73
<b>Tabla 30.</b> Mejora en el tiempo promedio de los procesos.....	76
<b>Tabla 31.</b> Mejora la productividad del proceso.....	76
<b>Tabla 32.</b> Nivel Seis sigma de la propuesta .....	78

<b>Tabla 33.</b> Cronograma de aplicación de las acciones de mejora.....	79
<b>Tabla 34.</b> Estimación de ingresos.....	82
<b>Tabla 35.</b> Evaluación de la inversión de mejora .....	83
<b>Tabla 36.</b> Comparativo de resultados.....	84

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Guía de entrevista.....	92
<b>Anexo 2.</b> Registro de observación del proceso .....	93
<b>Anexo 3.</b> Registro de datos del proceso.....	94
<b>Anexo 4.</b> Evidencia fotográfica de cada etapa del proceso de producción.....	95
<b>Anexo 5.</b> Tablas de defectos encontradas en la observación .....	98
<b>Anexo 6.</b> Tablas de excedentes de tiempo encontradas en la observación .....	99

## **INTRODUCCIÓN**

La calidad es un elemento al que todas las organizaciones deben prestar atención con la finalidad de poder asegurar niveles de competitividad adecuados para mantenerse en el mercado. Entre los enfoques de calidad se encuentra la metodología DMAIC Seis sigma, caracterizada por aplicar las etapas de mejora de calidad basadas en definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Esta metodología pretende aplicar un ciclo de calidad para alcanzar el nivel de Seis sigma que representa una eficiencia del 99,99 % o 3,4 errores o defectos por cada millón de unidades [1]. Por lo mismo, se propone en este estudio la aplicación de la metodología DMAIC Seis sigma a una empresa encargada de la fabricación de adoquines.

La empresa empresa CR Solution tiene más de 30 años en el mercado y entre sus actividades se encuentra la elaboración de adoquines para construcción. No obstante, mucho de sus procesos se continúan efectuando de manera semi artesanal, es decir, con la utilización de maquinaria de apoyo pero principalmente bajo una producción manual. Por lo mismo, la elaboración de su producto no está exenta de errores o variaciones que pueden ser un factor que afecte a sus resultados empresariales. Esta situación hizo evidente la necesidad de la organización de implementar un sistema de medición de la calidad, el DMAIC Seis sigma.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El entorno dinámico y variable en el que se desempeñan las organizaciones exige una ágil adaptabilidad para que se mantengan en el escenario competitivo. Justamente, la gestión por procesos implica una manera de volver más eficiente a la entidad, con el objetivo de evitar una estructura pesada, que complica la gestión y los costos, para permitir alcanzar mejores niveles de productividad [2].

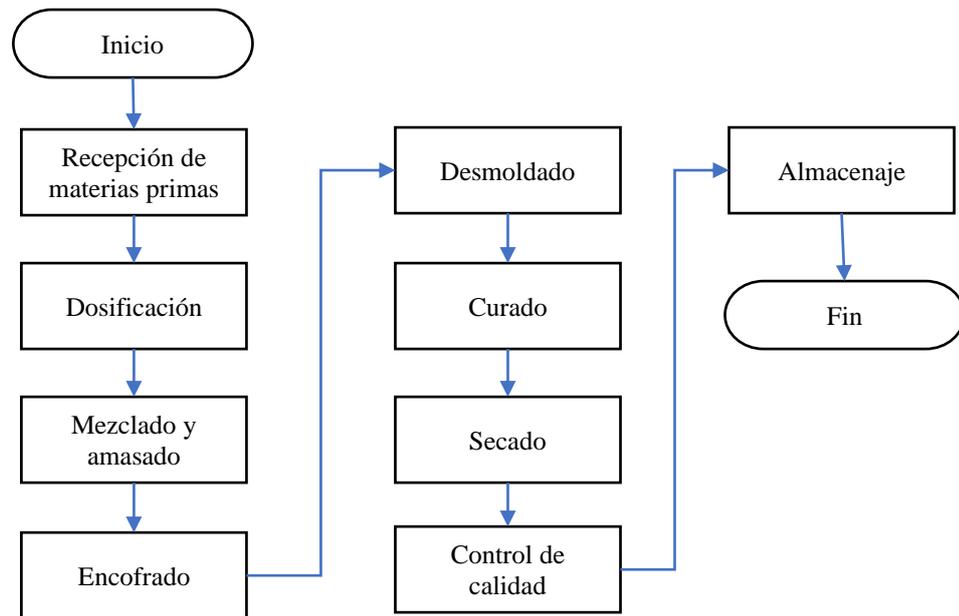
Respecto a la gestión por procesos, Pérez [3] afirma que, más allá de ser un modelo de administración, consiste en un grupo de saberes e instrumentos que permiten aplicar el concepto de la calidad en las organizaciones. Así también, el autor señala que esta forma de administración ayuda a que las empresas desplieguen sus estrategias por medio de los procesos clave, promueve el trabajo en equipo y la eficacia integral.

En general se piensa que la documentación de los procesos aplica únicamente a las grandes empresas. Sin embargo, entre las ventajas de efectuar esta gestión en entidades

de menor tamaño se resalta la inalterabilidad de actividades, facilitación del aprendizaje de los empleados, depuración de actividades e incremento de productividad. Por esto, la documentación de los procesos, sobre todo el productivo, abarca una necesidad considerable por parte de todas las organizaciones sin importar su tamaño, y sobre todo, cuando desean crecer en el mercado en el que compiten [2].

Considerando al proceso como el eje central que permite a las organizaciones ofrecer valor a los clientes, diversas metodologías han surgido con la finalidad de lograr que dichos procesos sean cada vez más eficientes, eficaces y productivos. Entre estas metodologías se tiene al DMAIC 6 SIGMA, denominado así por las siglas en inglés *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*, es decir, definir, medir, analizar, mejorar y controlar [4]. Esta metodología surge del modelo de calidad Six sigma, y pretende reducir la variabilidad de una característica del proceso, reducir o eliminar fallas, disminuir el desperdicio, y rebajar o eliminar la frecuencia con la que se producen defectos [5].

Para el presente estudio será relevante el proceso productivo de adoquines. Fabregat [6] menciona que el proceso abarca las etapas recepción de materias primas, almacenamiento de materias primas, dosificación y amasado, encofrado con presión, curado, tratamientos secundarios, control de calidad, paletizado y almacenamiento de producto terminado. Por otra parte, Pabón [7] sugiere un proceso similar que abarca recepción, mezclado, relleno y compactación de moldes, desmolde, control de calidad interno, apilado, secado y almacenaje. El proceso sugerido por Cabezas [8] y por Colcha y López [9] es muy similar, aunque agrega la actividad de curado del adoquín luego de su moldeado. Estos procesos son similares sin embargo las tareas pueden cambiar según se utilice o no maquinaria para realizar determinadas actividades, según la composición del adoquín (dado que varios proyectos lo elaboran con material reciclado), y según las actividades de control durante el proceso. En síntesis, el proceso básico para la elaboración de adoquines abarca las etapas que se presentan en la Figura 1.



**Figura 1.** Proceso básico de elaboración de adoquines

El estudio se centra en la empresa CR Solution. Esta organización remonta sus inicios a mediados de la década de los 90, cuando la propietaria decidió trabajar de manera independiente entregando material de construcción, siguiendo el ejemplo de su padre. Gracias a su esfuerzo y dedicación, comenzó a tener contacto con algunos arquitectos e ingenieros para proveer de material a obras que cada vez requerían mayores cantidades. Fue así como llegó a negociar con el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, al cual sirvió durante varios años. Fue aproximadamente 20 años más tarde que los hijos de la propietaria comenzaron a participar en la formalización del negocio, pero también a darle un enfoque distinto, ya que se dieron cuenta de la necesidad de adoquines y bloques por parte de las instituciones públicas. Fue entonces cuando se realizaron las inversiones necesarias para adquirir un terreno y la maquinaria necesaria que permita la fabricación de adoquines, con lo cual se calificó como proveedor en el SERCOP.

Entre la maquinaria y el personal que se necesita actualmente para la fabricación de los adoquines se incluyen los elementos presentados en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Maquinaria y talento humano de la empresa

<b>Maquinaria</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Talento humano</b>	<b>Cantidad</b>
Mezcladora	1	Gerente	1
Vibroprensadoras	2	Personal administrativo	2
Tableros (metálicos y de madera)	Variable	Área comercial	1
Herramientas menores	1 set	Trabajadores área de producción	7
Montacargas	1		

Dado el crecimiento que ha tenido desde sus inicios, la empresa CR Solution no cuenta con un marco estratégico actual o documentación de los procesos, lo que evidencia una fabricación efectuada de forma tradicional. Sin embargo, en ciertas ocasiones la demanda se ve afectada por la capacidad productiva actual, la cual no ha podido ser establecida formalmente, dado que aún se produce bajo un enfoque artesanal. De modo que el problema se puede sintetizar en la variación de la productividad en la producción de adoquines.

Por la situación expuesta, el presente proyecto propone la realización de una investigación centrada en la relación entre el proceso productivo y la productividad en la fabricación de adoquines en la empresa CR Solution, mediante la cual se busca levantar y documentar el proceso adicionando algunos aspectos imprescindibles para que la productividad de la empresa pueda mejorar, en comparación con la situación actual.

### **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El problema se formula mediante la siguiente interrogante:

- ¿Cómo aplicar 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?

## **OBJETO DE ESTUDIO**

El objeto de investigación lo constituye el proceso de fabricación de adoquines, siendo este el fenómeno que se evaluará y analizará para proponer las respectivas mejoras.

## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El proceso productivo es el principal generador de los ingresos en la empresa, por tanto, necesita documentarse, para que exista una base que permita la aplicación de cada actividad de manera consistente, lo que, garantice la calidad de los productos, la seguridad de los empleados, incrementando la cantidad de adoquines que se pueden fabricar al día.

El beneficio de la investigación para la empresa CR Solution, permitirá formalizar el proceso productivo de fabricación de los adoquines, para mejorar la productividad. Sin embargo, la propuesta también servirá como referencia o guía para otras entidades del mismo tamaño o giro de negocio, para que puedan considerar documentar sus procesos principales generadores de valor, y así efectivizar su gestión operativa.

Desde el aspecto teórico, se validarán aquellos elementos que permiten aplicar la gestión por procesos, con finalidades de eficientizar la gestión productiva de las organizaciones. En el ámbito metodológico, se partirá de la investigación documental y descriptiva, y por medio del método analítico sintético, levantar y proponer los lineamientos y aspectos que aporten a la optimización del proceso productivo de una empresa.

Desde el contexto práctico, se esbozará la aplicación de los aspectos teóricos al caso analizado de la empresa CR Solution, para contribuir a una gestión más eficiente en la fabricación de adoquines.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Proponer la 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.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Desarrollar el estado del arte sobre la aplicación de la metodología DMAIC 6 SIGMA en la industria de la construcción mediante la recopilación de información de papers y bibliografía especializada para sustentar teóricamente la investigación.
- Recopilar información de la aplicación del DMAIC 6 SIGMA en la industria de la construcción mediante una investigación de campo para caracterizar el proceso de fabricación de adoquines.
- Analizar la aplicación del DMAIC 6 SIGMA en el proceso de fabricación de adoquines y la productividad en la industria de la construcción para identificar puntos susceptibles de mejora.
- Proponer la metodología DMAIC Seis sigma en el proceso de fabricación de adoquines en la empresa CR Solution para mejorar la productividad.

## **HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

La aplicación de la metodología DMAIC 6 SIGMA mejorará la productividad en los procesos de fabricación de adoquines en la empresa CR Solution en Quito, Distrito Metropolitano.

## **ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación es de carácter propositivo, de modo que comprende el diagnóstico, y evaluación del proceso de fabricación, y el desarrollo de una propuesta de mejoras al mismo basado en la metodología DMAIC 6 SIGMA, sin embargo no abarca su implementación dado que será decisión de los administradores de la empresa toman la decisión al respecto. La valoración de la productividad se realizará mediante estimaciones de tiempo y recursos en el caso de la propuesta, confrontadas contra la situación actual.

## **DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS CAPÍTULOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

El proyecto de investigación está compuesto por cuatro capítulos, organizados de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se desarrollará la base teórica mediante información de fuentes bibliográficas especializadas y literatura académica, acerca de la metodología DMAIC Seis sigma y la evaluación y análisis de procesos.

El capítulo 2 presentará todos los aspectos relacionados con la metodología de la investigación, como por ejemplo, el diseño, modalidad, tipo y métodos utilizados, además de las técnicas e instrumentos, la operacionalización de variables y la población que participó en el estudio.

El capítulo 3 contendrá el análisis e interpretación de los resultados, obtenidos del procesamiento de los instrumentos de levantamiento de información. En este caso, se presenta el diagnóstico situacional de la empresa y el análisis del proceso de fabricación.

El capítulo 4 presentará la 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.

El informe del proyecto de investigación cierra con las conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos respectivos.

## **CAPÍTULO 1**

### **MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO SOBRE DMAIC 6 SIGMA Y PRODUCTIVIDAD**

#### **1.1 Introducción**

Todo estudio requiere sustentarse en el conocimiento científico, por tanto, el capítulo 1 presenta el marco contextual y teórico que fundamenta la aplicación de la metodología DMAIC 6 SIGMA para mejorar la productividad.

#### **1.2 Marco referencial de la investigación**

Dentro del Marco teórico de la investigación se han recopilado contenidos acerca de DMAIC Seis sigma, abordando sus beneficios, su aplicación, pero sobre todo, sus cinco fases para asegurar la calidad.

##### **1.2.1 Antecedentes de la investigación**

Como antecedentes investigativos se encontraron varios estudios relacionados a la productividad y los procesos productivos, y otros en los que se ha tratado la productividad en la fabricación de adoquines.

Ávila [10] llevó a cabo un plan de negocios para mejorar la productividad en una fábrica de adoquines en Ecuador. Se llevó a cabo una investigación descriptiva, cuantitativa mediante observaciones y encuestas. El autor planteó acciones de mejora como la implementación de un manual de procesos y funciones, un plan de seguridad y manejo de residuos, entre otros. Mediante esto propone elevar la productividad anual de 486402 a 642779 adoquines lo que representa un aumento del 32,15 %.

Por otro lado, en Colombia se halló una propuesta basada en la teoría de las restricciones para mejorar la capacidad de producción en el proceso de fabricación de adoquines. Puma [11] realizó un estudio cuantitativo y descriptivo mediante el análisis de tiempos y costos de las diversas etapas del proceso. La teoría de las restricciones propone identificar el eslabón más débil de la cadena productiva e intervenir sobre este dado que sería aquel que limita la productividad. La autora identificó como elementos más débiles a la transportación, sobreesfuerzo, limpieza y descansos frecuentes que

provocan tiempo improductivo. Al trabajar sobre estos aspectos se logró un aumento de la productividad del 38,89 %.

Otro estudio, centrado en la calidad, consistió en una propuesta para implementar un proceso de control en un grupo de 11 empresas productoras de adoquines, bloques y complementos según señala Cerdas [12]. Para esto se realizó una investigación de enfoque cuantitativo y mediante la metodología DMADV (Definir-Medir-Analizar-Diseñar-Verificar). Mediante la propuesta se reduciría el desperdicio, se mejoraría la utilización de materias primas e insumos y se aprovecharía de mejor manera el tiempo. De acuerdo con los autores la productividad mejoraría en un 66,53 %.

En cambio Muro [13] analizó el mantenimiento preventivo como un factor de incidencia en la productividad en la fabricación de adoquines, pavimento y concretos en general en una empresa en Perú. El estudio se desarrolló con un enfoque cuantitativo, como investigación aplicada, y con diseño experimental. La muestra se compuso de 17 trabajadores y los datos se levantaron mediante observaciones, entrevistas y análisis documentario. La productividad se elevó en tres máquinas mezcladoras en 0,9 %, 0,4 % y 10,6 %, mientras que en las vibro compactadoras fue de 8,3 % en las tres máquinas evaluadas.

También puede mencionarse el estudio de Aka y Emuze [14] realizado en Nigeria, sobre las tareas y actividades que no agregaban valor en el proceso de producción de adoquines de concreto. El estudio se desarrolló de manera mixta, con una aproximación cualitativa y cuantitativa a los datos. Los autores encontraron entre las principales causas de desperdicio a un aprovisionamiento excesivo de materiales, esperas o pausas excesivas, la falta de ajuste de la producción a los cronogramas de trabajo o la ausencia de estos, el rellenado de moldes, compactación pobre o inadecuada de los bloques, y largas distancias cubiertas entre las etapas del proceso. Los autores consideran que estos elementos pueden estar afectando a la producción en un 76 %. Como respuesta sugieren la aplicación de metodologías 'lean' tales como el kanban o el Just in Time.

Montoya [15] llevó a cabo una investigación en una empresa de concreto en Perú para la optimización de la producción. La investigación aplicada fue de tipo explicativa, con enfoque cuantitativo, y se recopiló información mediante la observación, para lo cual se aplicaron listas de chequeo y guías de registro de datos. Entre las soluciones de

optimización se mencionan la implementación de maquinaria de apoyo como un sistema hidráulico de compactación, formalización del proceso de control de calidad y homogeneidad, entre otros aspectos. La mejora reportada en productividad fue del 33 %.

Por último, puede mencionarse el estudio de tiempos y métodos en la unidad de producción de adoquines del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Chambo, en Chimborazo, realizado por Chugñay [16]. Se basó en un diseño no experimental, con enfoque cuantitativo y de tipo transversal. La información se recopiló mediante la observación, llevando a cabo registros de tiempos para cada actividad del proceso. Se identificó que el cuello de botella en el proceso, responsable del mayor consumo de tiempo, se encontraba en la etapa de mezclado y vibro compactado. Como solución se propuso la implementación de nueva maquinaria y un plan agregado de producción. La mejora fue de 3459 a 10594 unidades de adoquín, es decir, un aumento en la productividad del 206 %.

Otros estudios desarrollados con relación a la mejora de la productividad mediante la gestión del proceso productivo, pero realizados en empresas que fabrican otro tipo de productos diferentes a los adoquines, sugieren acciones como eliminar o combinar operaciones, mejorar la secuencia de actividades o realizar ciertas tareas en el tiempo ocioso de otras, y mejorar las condiciones físicas del lugar de trabajo para facilitar la labor al personal, entre otros [17], o el rediseño de procesos para incrementar la productividad al reducir tiempos, equilibrar líneas de producción, y mejorar la distribución de la planta [18].

### **1.2.2 DMAIC 6 SIGMA**

6 sigma o Seis sigma, es una metodología de gestión y control de la calidad que tiene su origen en investigaciones realizadas en los ochenta en la empresa Motorola. Estos estudios tenían por objetivo lograr mejoras cuantificables en la producción y la productividad, para lo cual se optó por un enfoque de calidad en la reducción de costos operativos. El término sigma representa la letra griega ‘ $\sigma$ ’, y es una variable que suele utilizarse en el ámbito estadístico y en los estudios de calidad, para representar la variación en los resultados de un proceso [19].

Seis sigma inició como un enfoque de medición y control de calidad, para pasar a convertirse en una “filosofía de gestión y estrategia” [19]. Permite abordar los problemas o dificultades en una organización, para resolver los problemas que enfrenta y mejorar continuamente los procesos, para identificar y eliminar las causas o detonantes de las fallas o defectos. Entre los resultados que ofrece aplicar Six sigma, se encuentra la reducción en los costos, reducción del tiempo que tarda un proceso productivo en llevarse a cabo, eliminación de errores y defectos, mejora del valor agregado de los productos, la calidad y la satisfacción de los clientes, y, como resultado directo de esto, una mejoría importante de la ganancia [19].

Como se mencionó previamente, ‘ $\sigma$ ’ sigma, representa la variación en los resultados, estadísticamente, se definiría como la desviación típica, lo que sugiere la manera en que todos los valores de un cúmulo de datos, se alejan en relación con la media de esos mismos datos. Al trasladar esta situación a un proceso productivo, la variación, o el  $\sigma$  sigma, representa la cantidad de unidades con errores o defectos. Un valor de sigma pequeño indicaría mínimas unidades con defectos. Dicho esto, Seis sigma, como metodología de gestión, trataría de que la cantidad de unidades defectuosas no supere las 3,4 partes por cada millón [20].

Según Oltra y Soler [21] Seis sigma funciona en dos niveles, operacional y gerencial, los cuales pueden funcionar tanto en procesos técnicos o productivos, como en procesos administrativos. En el nivel operacional se aprovechan las herramientas y técnicas estadísticas que permiten medir la variación en los resultados de los procesos a través de curvas de distribución normal, considerando que el proceso supera el estándar requerido cuando los valores obtenidos se encuentran en el rango más/menos 6 sigmas desde la media. En el nivel gerencial se gestionan y analizan las actividades y procesos que causan los defectos que se alejan del 6 sigma con la finalidad de reducirlos y mejorar la calidad.

Por todo lo relatado hasta este punto, puede concretarse que, mediante la metodología Seis sigma se detectan defectos y errores con la finalidad de elevar la calidad en los procesos de producción desde un enfoque preventivo. La reducción de defectos que puedan producirse en el futuro evita costos por desperdicios o acciones correctivas, lo que implica un ahorro significativo cuando se acerca a la perfección, dado que una proporción de 3,4 defectos por cada millón de unidades representa una eficiencia del

99,9997 %. No obstante, para organizaciones en las que se vuelve difícil alcanzar esta medida, se han considerado otros niveles de sigma como 3 o 4 sigma, lo que representa una dimensión muy diferente a 6 sigma. 3 sigma representa una proporción de 66807 defectos por millón, es decir, una eficiencia del 93,32 %, mientras que 4 sigma comprende 6210 defectos por millón de unidades, o una eficiencia del 99,38 %. Los niveles de sigma, del 2 al 6, se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Proporción de errores por cada millón de unidades en niveles de sigma

Nivel de $\sigma$ (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 %

Adaptado de [1]

Si bien 5 sigma se acerca mucho al 100 %, la eficiencia que pretende alcanzar Seis sigma roza la perfección, con un valor de 99,9997 %, indica un costo irrisorio por defectos o desperdicios.

### 1.2.2.1 Diferencias entre Seis sigma y métodos tradicionales

Para comprender de mejor manera lo que implica la metodología Seis sigma, es necesario tener claro el ciclo DMAIC mediante el cual se desarrolla. Este ciclo se nombra así debido a las siglas de las cinco etapas que lo componen Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. En las metodologías tradicionales de gestión su equivalente sería el ciclo PDCA en referencia a Planear, Hacer (*Do*), Controlar y Actuar. El ciclo PDCA es un método que tiene utilidad para abordar situaciones o problemas que tamaño medio, mientras que DMAIC permite abordar problemas complejos en los que existe una gran cantidad de información o datos [20].

Al comparar las fases y los ciclos entre ambas metodologías, se tiene que, la fase ‘Planificar’ en PDCA se desglosa en DMAIC en las fases Definir, Medir y Analizar como muestra la Tabla 3. Esto implica que, para el ciclo PDCA sus dos primeras fases establecen lo que se debe hacer, mientras que en DMAIC, a más de definir qué hacer, se identifica cómo se va a hacerlo. No obstante, esto se traduce, en el caso de DMAIC,

en un proceso más profundo, pero a la vez, con un requerimiento mayor de tiempo para su aplicación [20].

**Tabla 3.** Comparación entre ciclo PDCA y DMAIC

<b>Ciclo PDCA</b>	<b>Ciclo DMAIC</b>
Planificar	Definir
	Medir
	Analizar
Hacer	Mejorar
Verificar	Controlar
Actuar	

Adaptado de [20]

Según Oltra y Soler [21] entre la metodología tradicional y Seis sigma se encuentran varias diferencias sobre su acercamiento a la calidad. En la Tabla 4 se muestran los principales puntos de diferencia entre enfoques.

**Tabla 4.** Comparación entre enfoques tradicional y Seis sigma de la calidad

<b>Calidad según enfoque tradicional</b>	<b>Calidad según enfoque Seis sigma</b>
Estructura rígida y centralizada	Estructura flexible y descentralizada
Enfoque reactivo	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

Adaptado de [21]

Como se observa en la tabla 4, Seis sigma se maneja de una manera más flexible y descentralizada que permite actuar de manera preventiva mediante técnicas estructuradas. Pero el punto más relevante, en comparación a enfoques tradicionales, es que se busca eliminar la causa raíz que genera la presencia de defectos, y un posterior control sobre indicadores o variables clave.

De acuerdo con Carroll [1] para llegar a las causas raíz de los problemas de un proceso los especialistas en Seis sigma analizan miles o millones de datos o eventos. En

contraste, los ingenieros de proceso generalmente desarrollan análisis mediante herramientas tales como diagramas de flujo, diagramas de causa efecto, y mapas de proceso, pero observan instancias individuales, lo que hace evidente que Seis sigma posee una dimensión de análisis y acción mucho más amplia y profunda. Los resultados de los dos enfoques se hacen evidentes al ejemplificar que implica lograr Seis sigma, como muestra la Tabla 5.

**Tabla 5.** Comparación de resultados en un enfoque clásico y Seis sigma

<b>Vista clásica de la calidad eficiencia 99 %, o 3,8 <math>\sigma</math></b>	<b>Vista de Seis sigma de la calidad eficiencia 99.99966 % o (6<math>\sigma</math>)</b>
20.000 artículos perdidos en el correo por hora	7 artículos perdidos en el correo por hora
Tomar agua insegura casi 15 minutos al día	1 minuto de beber agua insegura cada siete meses
5000 operaciones quirúrgicas incorrectas por semana	1,7 operaciones quirúrgicas incorrectas por semana
200000 prescripciones erróneas de medicina cada año	68 prescripciones erróneas de medicina cada año
Falta de electricidad por casi 7 horas cada mes	Una hora sin electricidad cada 34 años

Adaptado de [1]

La Tabla 5 muestra el efecto real de Seis sigma. Es abismal la comparación entre 20000 artículos perdidos por hora en el correo a únicamente 7 artículos, o 7 horas de electricidad faltantes cada mes frente a una hora faltante cada 34 años. En términos de calidad y beneficios a una nación la afectación a la salud por 5000 operaciones incorrectas o 200000 prescripciones erróneas sería enorme, frente a 1,7 operaciones y 68 prescripciones.

### 1.2.2.2 Beneficios de Seis sigma

En el acápite previo se dejó en claro la capacidad de Seis sigma para mejorar la calidad y eliminar, casi por completo, los errores o defectos en un proceso de producción, sin embargo esta metodología posee otros beneficios según mencionan Oltra y Soler [21]. Estos beneficios son:

- Aumento en el nivel de participación del personal de una organización.
- Mejoría de las ganancias que una empresa obtiene.
- Elevación de la satisfacción de clientes, usuarios o consumidores.

Con relación al aumento en el nivel de participación de los empleados, este se produce dado que la metodología requiere intervenir sobre todos los mecanismos y componentes de un proceso. En este caso, el recurso humano es el único elemento que tiene la capacidad para razonar y comportarse según las circunstancias. Es vital integrar al Seis sigma a los trabajadores, lo que mejora su orgullo y aprecio por el trabajo bien realizado.

Respecto a la mejora de las ganancias, esta se produce durante la implementación del Seis sigma, como la consecuencia por reducir los fallos o defectos, lo que reduce los costos de operaciones y los gastos por productos desperdiciados o desechados. Se produce incidentalmente una mejoría en la rentabilidad empresarial, y aumenta la eficiencia en general.

Con relación a la satisfacción del cliente, esta se ve beneficiada gracias a que los procesos y actividades de la organización están dirigidas al cumplimiento de las necesidades de estos. De manera indirecta Seis sigma mejora la fidelización y lealtad del cliente, aumenta la participación de la empresa en el mercado y su competitividad.

### **1.2.3 Fases de Seis sigma DMAIC**

El ciclo de proceso de Seis sigma para lograr la calidad continua se desarrolla bajo la metodología DMAIC, de la cual se hizo mención en acápites previos. Las cinco etapas que lo componen están interconectadas según Rahman, Chowdhury, Kumar [19]. Esto permite que todo el ciclo funcione de manera orgánica y dinámica para lograr que las organizaciones puedan resolver de forma rápida y precisa los problemas que se les presenten.

Las fases DMAIC definen los objetivos y miden el proceso, además de analizar y determinar las causas y, posteriormente, establecer los mecanismos de control del rendimiento alcanzado. Con cada etapa se alcanza un grado de mejora en el nivel de sigma y a la vez se reduce la posibilidad de error. En los puntos siguientes se aborda cada una de estas etapas Definir (Define), Medir (Measure), Analizar (Analyze), Mejorar (Improve), y Controlar (Control) [22].

### 1.2.3.1 Definir

La primera etapa del proceso DMAIC, *Define* en inglés o definir, tiene por finalidad establecer el alcance y los límites del proyecto. También define los recursos humanos, la organización y sus funciones, los requerimientos y expectativas que tiene el cliente, y por último, los objetivos de los proyectos en los que se aplicará el DMAIC [19].

Al tratarse de la primera etapa del ciclo Seis sigma es la base para identificar y plantear el problema o situación a intervenir, lo que requiere además, el determinar el objetivo y metas a alcanzar, y definir los componentes que pertenecen o intervienen en el proceso [20]. Esta etapa se desarrolla de manera genérica, y se denomina ‘definir’ porque identifica los defectos o errores a corregir, en qué parte del proceso se ubican, qué clientes del proceso se ven afectados, además de establecer el equipo humano que actuará sobre el problema [21].

Esta primera etapa también tiene como objetivo verificar si los esfuerzos necesarios para solucionar los problemas identificados, están relacionados con las prioridades y objetivos organizacionales, asimismo, si existe o no el apoyo gerencial y la disponibilidad de recursos. Es decir, que no solo plantea lo que debe hacerse para resolver un problema identificado, sino que determina si las acciones a solucionarse van a ser factibles de implementarse, ya sea por recurso, por apoyo o porque aportan a los fines de la organización [23].

Inicia con la identificación de errores o defectos, descritos como problemas a solucionarse, y con la comprensión de todos los aspectos que abarcan a dichos problemas. Esto requiere analizar aspectos relacionados con la gestión y con factores externos que influyen en el costo organizacional. Con esto se tendrá claro que aspectos o medidas adoptar para eliminar dichos costos antes de abordar aquellos factores que provocan costos internos [23]. Además, esta etapa se direcciona a la satisfacción de los clientes del proceso, lo que requiere comprenderlo a fin de poder encontrar oportunidades de mejora que permitan lograr los objetivos de calidad [22].

En esta etapa se pueden utilizar diferentes herramientas, una de las más utilizadas es el diagrama de flujo ya que permite identificar los procesos sobre los que actuar más fácilmente. También se utiliza el Despliegue de la Función de Calidad, que es una técnica que tiene como objetivo trasladar las necesidades de los clientes a requisitos y características de calidad, o el Análisis Modal de Fallos y Efectos, que permite

determinar qué características hay que controlar [20]. También se cuenta como una herramienta usada en esta etapa a los estudios benchmarking, los cuales comparan los procesos de negocio de la empresa con los de empresas líderes con tal de identificar oportunidades [21]. También se menciona el diagrama de Pareto al ser una herramienta útil que ayuda a reducir el problema [23].

La función de esta etapa abarca la definición del objetivo y sus requisitos [23]:

Definir los recursos y responsabilidades necesarios,

Definir la estructura de la organización que es favorable para lograr los objetivos,

Identificación de los elementos y fijación de la fecha estimada de finalización del proyecto,

Obtener el apoyo de la dirección.

### **1.2.3.2 Medir**

La segunda etapa del DMAIC, 'Medir', comprende la revisión y selección de los aspectos o componentes que se van a medir y mejorar, lo que aporta un esquema para determinar el rendimiento actual y poder evidenciar, monitorear y comparar la mejora lograda [19]. Los aspectos definidos previamente, se transforman en esta etapa en datos cuantitativos que aporten información clara sobre el estado del proceso, lo que ayuda a detectar las causas raíz de los defectos.

La medición comprende la evaluación de las fallas o defectos que se producen en los procesos internos, específicamente en aquellos que presentan problemas y que se definieron en la etapa anterior. Estas fallas pueden ser aspectos críticos para la calidad esperada en los productos o servicios de la organización, y que se encuentran fuera de los límites de tolerancia. Mientras menores son dichos límites impuestos por la propia organización, más comunes serán estas fallas o defectos, pero justamente Seis sigma pretende que los márgenes de tolerancia sean lo más reducidos posible. Para la etapa de medición se pueden utilizar diversas herramientas administrativas, tales como [20]:

Diagramas de flujo, mediante un flujograma se determinan las etapas y actividades que se ejecutan dentro de un proceso.

Histogramas, permiten distribuir los datos de los procesos para estimar la tendencia central y variabilidad.

Diagramas de tendencias, Representan gráficamente los datos para identificar de manera sencilla los defectos en un proceso [21].

Adicionalmente se pueden aplicar otras herramientas como análisis y muestreo estadístico, tormenta de ideas, levantamiento de datos mediante listas de chequeos, registros de tiempos del proceso, entre otras [20].

El sentido de aplicar cualquiera, o todas estas técnicas, es poder cuantificar el problema e identificar la línea base del estudio, de la que se desprenden los objetivos de mejora para DMAIC Seis sigma [22].

La etapa de medición se enfoca en la información que se necesita para comprender mejor todos los procesos en la organización, las expectativas de los clientes, las especificaciones de los proveedores y la identificación de los posibles lugares donde puede ocurrir un problema. Se puede hacer creando un mapa de proceso de la situación real y realizando un análisis de modo y efecto de falla (FMEA) que indicará los lugares de posible riesgo. El tema principal de la fase de medición es recopilar y analizar los datos que se necesitarán en la fase de control para mostrar las diferencias y evaluar el progreso que se presentará a la gerencia. También es fundamental evaluar el sistema de medición y asegurarse de que todos los datos sean veraces y se recopilen de manera adecuada [23].

La etapa de medición del proceso actual implican, identificación de métricas válidas y fiables, comprobar si hay suficientes datos para medir, documentación del desempeño y la eficacia actual, y realización de pruebas comparativas.

### **1.2.3.3 Analizar**

La etapa de análisis toma en cuenta los objetivos planteados en ‘Definir’ y los datos obtenidos en ‘Medir’, y sus esfuerzos se encaminan a identificar la causa, o causas, raíz de los defectos en el proceso. Mediante el análisis se da respuesta al porqué se producen dichos problemas, y se comparan y priorizan los aspectos que pueden resolverse y que pueden incidir en la mejora de los resultados [19].

Por lo dicho, el objetivo de la etapa ‘Analizar’ es comprender las razones por las que un defecto tiene lugar en el proceso [21]. Mediante el análisis estadístico de los datos obtenidos se lleva a cabo una interpretación cuantitativa de los mismos, para esto, pueden aplicarse diversas herramientas, algunas de las cuales se aplican también en la etapa previa, tales como:

Histograma, De manera gráfica, a través de columnas que representan la distribución de los datos, se pretende observar cómo se comportan estos respecto a la media.

Diagrama de Pareto, es un gráfico estadístico mediante el cual se busca identificar las causas que inciden en el mayor porcentaje de los problemas, con la finalidad de enfocarse sobre estas.

Causa-efecto, se trata de diagramas mediante los cuales se busca enlazar los resultados y efectos de un proceso con sus causas raíz.

Diagramas de dispersión, permiten correlacionar los datos correspondientes a dos variables para establecer el grado de influencia o asociación que existe entre una y otra.

Gráficos de control, es una herramienta utilizada para distinguir las variaciones debidas a causas asignables o especiales a partir de las variaciones aleatorias inherentes al proceso [20]

No obstante existen muchas otras herramientas, pero la selección de las mismas, e incluso el orden en que se utilizan, dependen el tipo de problema y de los datos disponibles y recolectados, por lo mismo depende de las fases previas y en caso de que no se haya definido ni medido de manera adecuada el problema, el análisis no podrá llevarse a cabo, ni se podrán verificar la relación de causa y efecto [22].

La etapa permite analizar los resultados de las mediciones, determinar las causas de las imperfecciones del proceso y posibles soluciones para ellos. Además ayuda en la identificación de las razones clave de los problemas, identificación de las diferencias entre el rendimiento actual y el objetivo, estimación de los recursos necesarios para lograr el objetivo, e identificación de posibles obstáculos.

En la etapa de análisis, se utilizan diferentes herramientas y métodos para encontrar las causas fundamentales, evaluar el riesgo y analizar los datos. Para confirmar el análisis, se deben realizar algunas muestras y se debe demostrar que los problemas

potenciales son problemas reales. En esta fase, es necesario definir la capacidad del proceso, aclarar los objetivos en función de los datos reales obtenidos en la fase de medición y comenzar el análisis de causa raíz que tiene un impacto en la variabilidad del proceso. Al calcular la capacidad del proceso, que se define como "sigma" del proceso, se mide la capacidad del proceso para cumplir con los requisitos de los clientes. La capacidad del proceso será un punto clave para la mejora planificada [1].

#### **1.2.3.4 Mejorar (improve)**

La cuarta etapa ‘Mejorar’, consiste en la experimentación de posibles alternativas o mejoras que permitan reducir la cantidad de problemas y/o defectos, evaluados mediante métodos estadísticos [19]. El análisis de los datos deriva en la selección y diseño de las alternativas para mejorar el proceso y eliminar o reducir las causas raíz de los problemas que provocan defectos.

El objetivo de la fase es la identificación de los aspectos que pueden mejorarse, y el cálculo del efecto que estas mejorías tendrían sobre los resultados, y si permiten o no alcanzar los márgenes de tolerancia esperados [21]. Las alternativas de mejora solo son factibles si pueden eliminar las causas raíz, pues de otro modo solo estarían ocultando el problema o resolviéndolo temporalmente [22].

La fase se destina a mejorar el proceso, implementando los cambios, lo que elimina las imperfecciones y facilita preparar la estructura de división del trabajo, desarrollar y probar posibles soluciones, seleccionar la mejor, y diseñar el plan de implementación.

La finalidad de esta etapa es tomar la información necesaria para crear y desarrollar un plan de acción para mejorar el funcionamiento de la organización, los aspectos financieros y los problemas de relación con el cliente. Las posibles soluciones para el plan de acción deben ser presentadas y ejecutadas. Se llevan a cabo algún tipo de soluciones piloto, que confirman la validez y precisión del trabajo analítico que permite hacer las correcciones antes de aplicar las soluciones a gran escala [14].

#### **1.2.3.5 Controlar**

La quinta etapa, ‘Controlar’, tiene la función de garantizar que las mejoras planteadas en la fase previa se mantengan, por lo que requiere monitorear continuamente el

rendimiento del proceso. Esto abarca también la documentación de las mejoras y su institucionalización, es decir, que se manifiesten en forma de normas, protocolos y reglas de la organización [19]. Durante la etapa de control, se lleva a cabo un seguimiento constante de las alternativas de mejoría aplicadas, y se controla que los resultados proyectados en la etapa ‘Analizar’ sean coherentes con los resultados obtenidos [20].

Pons, Gisbert, y Pérez [20] mencionan que durante la etapa ‘Controlar’, una de las herramientas más usadas son las gráficas de control, análisis de capacidad y, sobre todo, el cálculo del nivel sigma alcanzado por el proceso. Otras técnicas usadas son el control estadístico, y técnicas *lean* según Oltra y Soler [21], como el *Poka Yoke*, que consiste en un método que se enfoca en detectar y eliminar errores en los procesos, para lograr una mejora continua.

El objetivo de esta etapa es lograr que las mejoras implementadas sean estables, es decir, que las variables de medición se mantengan constantes, o dentro del margen de tolerancia, a lo largo del tiempo asegurando que el comportamiento del proceso sea predecible [22].

El Control del proceso mejorado y el monitoreo de los resultados de forma continua arroja como resultado la documentación del plan de normalización y mejoras en el seguimiento de procesos, la confirmación de los procedimientos mejorados, y transferir la propiedad de los equipos relevantes después de la finalización del proyecto.

La etapa de control consiste en confirmar si los cambios implementados en la etapa de mejora son suficientes y continuos mediante la verificación de la calidad del proceso mejorado. También controla el estado futuro del proceso para minimizar la desviación de los objetivos y garantizar que la corrección se implemente antes de que tenga una mala influencia en el resultado del proceso. Deben implementarse sistemas de control como el control estadístico de procesos. El proceso debe ser monitoreado continuamente. En la fase de control se utilizan gráficos de control para identificar si el proceso es controlable o no [14].

### 1.2.4 Aplicación de DMAIC Seis sigma

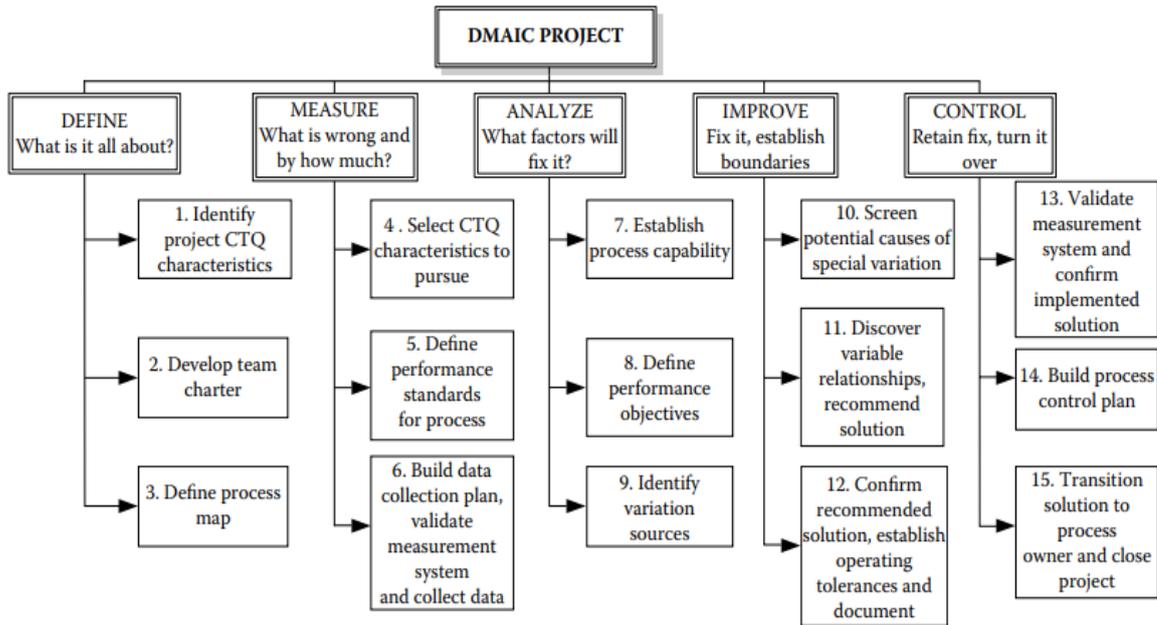
Dado que DMAIC es un ciclo de calidad que se basa en el levantamiento y análisis de datos para mejorar el porcentaje o tasa de defectos, es un elemento clave en Seis sigma, aunque, según Rahman, Chowdhury y Kumar [19], también puede implementarse como una práctica de calidad independiente o como parte de iniciativas *lean*. No obstante, dentro o fuera de Seis sigma sus etapas poseen la misma aplicación según se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Preguntas clave para cada etapa de DMAIC

<b>Definir</b>	<b>Medir</b>	<b>Analizar</b>	<b>Mejorar</b>	<b>Controlar</b>
¿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?
¿Quiénes son los stakeholders?	¿Qué gráficas debemos hacer?	¿Qué pistas hemos descubierto?	¿Hemos reducido la variación?	¿Los resultados son sostenibles?

Adaptado de [19]

De acuerdo con Carrol [1] DMAIC abarca 15 pasos, agrupados en las cinco etapas, como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Pasos para la aplicación de DMAIC

Existe mucha confusión en relación con las métricas de Seis sigma. El nivel sigma que a veces se usa como medida no siempre tiene una relación lineal con la calidad. En otras palabras, una mejora unitaria porcentual en partes por tasa de defectos por millón (ppm) (o defectos por millón de oportunidades [DPMO]) no equivalen al mismo porcentaje de mejora en el nivel de calidad sigma. Las medidas comunes del rendimiento del proceso son Defectos por unidad (DPU), Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO) y Partes por Millón Defectuosas (PPM). La clave para entender la diferencia entre estos términos es entender la diferencia entre un defecto y un artículo defectuoso.

Un defecto se refiere a un defecto o discrepancia en un artículo donde más de un defecto (defecto) se puede encontrar. Por ejemplo, un formulario de ingreso en un hospital contiene varios campos de información que puede faltar o ser incorrecta, por lo que un formulario dado puede tener más de un defecto. Esto significa que una muestra de 10 formularios puede presentar más de 10 defectos.

Se dice que un artículo es defectuoso cuando se toma la decisión de que el artículo no es aceptable, basado ya sea en una característica o en la acumulación de múltiples defectos. Esto significa que una muestra de 10 artículos puede mostrar un máximo de 10 unidades defectuosas [19].

Estas medidas se obtienen mediante las siguientes fórmulas [19].

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

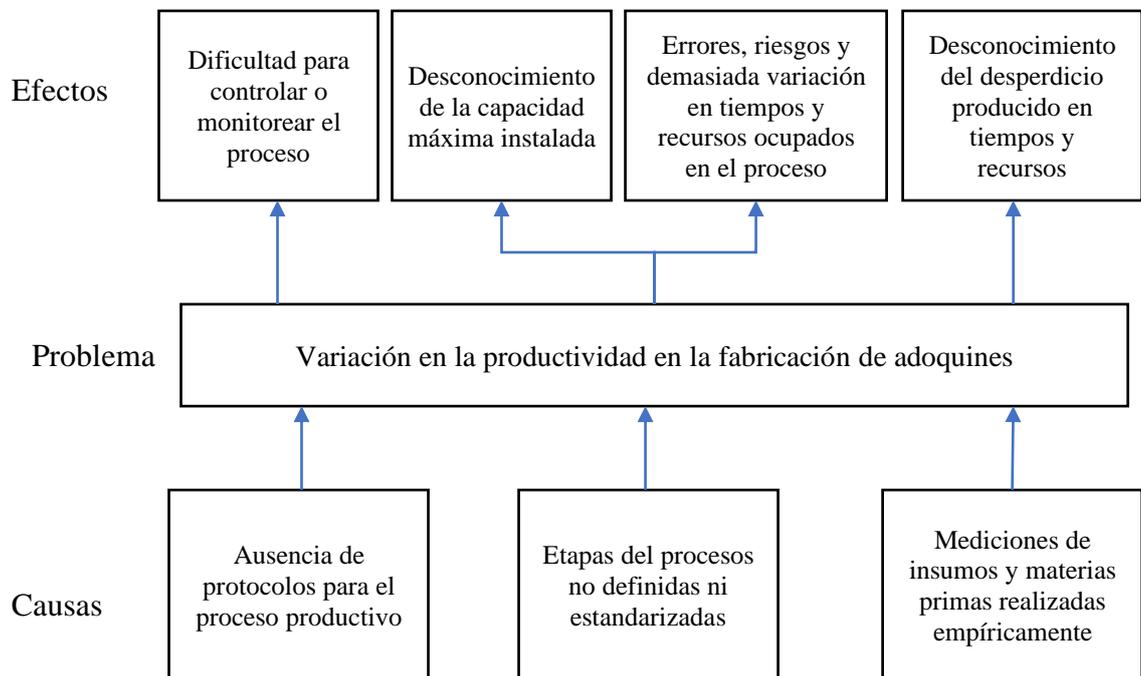
Representa la proporción de defectos por unidad, donde ‘d’ representa el número de defectos y ‘UL’ la cantidad de unidades por lote.

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

Representa la cantidad de defectos por millón de oportunidades, donde ‘d’ es el número de defectos, ‘U’ es la cantidad de unidades y ‘O’ representa la cantidad de oportunidades de mejora.

### 1.3 Fundamentación de la investigación

La Figura 3 presenta el árbol del problema donde se presentan las causas y efectos del problema abordado.



**Figura 3.** Árbol del problema

La variación en la productividad en la producción de adoquines tiene como causas, en primer lugar, la falta de procesos definidos y estandarizados debido a que no se ha documentado ni diseñado un flujograma o procedimientos para cada etapa de la producción, por lo que el proceso se desarrolla desde el conocimiento y experiencia de los trabajadores y el hábito. No obstante, esto provoca que exista dificultad para controlar o monitorear el proceso al no existir estándares de referencia. Además, esto

impide conocer cuál es la capacidad máxima instalada por lo que no se puede conocer cuál es el margen de mejora de la productividad, o qué actividades, tareas o procedimientos pueden intervenir para hacer más eficiente la producción.

En segundo lugar, la ausencia de protocolos para el proceso productivo causa que el personal desconozca los parámetros que deberían cumplirse para asegurar que el proceso se desarrolla sin contratiempos, de manera eficiente, oportuna y sin riesgos para los propios trabajadores, por lo que se produce un costo para la empresa por errores, y demasiada variación en el uso del tiempo y otros recursos.

En último lugar, el uso de la materia prima y otros insumos en la producción se realizan mediante estimaciones o mediante medidas no estandarizadas como carretillas o sacos, lo cual provoca que se desconozca al detalle las cantidades utilizadas o el desperdicio resultante y los costos asociados al mismo.

### **1.3.1 Fundamentación legal**

Dentro del marco legal en Ecuador relacionado con calidad o gestión por procesos, puede hacerse mención a los siguientes instrumentos [24].:

- Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad y su reglamento. En esta ley se establecen los principios, políticas y entidades encargadas de evaluar y normar la calidad a nivel nacional. Se incluye temas relacionados con los derechos de los ciudadanos y el incentivo a la cultura de la calidad. En esta ley se plantea la existencia de certificaciones de calidad que acrediten la aplicación de reglamentos técnicos. Con relación al sector de la construcción se menciona la reglamentación técnica la cual “...comprende la elaboración, adopción y aplicación de reglamentos técnicos necesarios para precautelar los objetivos relacionados con la seguridad, la salud de la vida humana, animal y vegetal, la preservación del medio ambiente y la protección del consumidor contra prácticas engañosas” [24].
- 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” [25]. 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.

#### **1.4 Conclusiones del capítulo**

La investigación teórica mostró que, entre las diversas metodologías de gestión de la calidad, el DMAIC Seis sigma posee varias ventajas, debido a su enfoque a reducir el error a los niveles más bajos posibles. Para el sector de la construcción, específicamente en la elaboración de adoquines, la reducción de la probabilidad de que un producto sea considerado una falla, permite ahorrar costos al evitar desperdicio de recursos y de tiempo. No obstante, a pesar de las ventajas de DMAIC Seis sigma, no se encontraron estudios donde se aplique esta metodología en la producción de adoquines, por lo que existe un vacío de conocimiento que se llenará con esta investigación.

## CAPÍTULO 2

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1 Introducción

En el capítulo 2 se aborda la metodología de la investigación, en la que se describen todos los aspectos relacionados con la planificación y ejecución del proceso que se llevó a cabo para levantar los datos. En el capítulo se presenta el diseño de la investigación seleccionado, la modalidad y el tipo de investigación, los métodos aplicados, las técnicas e instrumentos que se seleccionaron y elaboraron para recopilar la información, la operacionalización de las variables, el detalle de la población y la muestra y los resultados de la técnica aplicada.

#### 2.2 Diseño de la investigación

El diseño del estudio fue no experimental. Este tipo de investigación es aquella en la que no se manipulan las variables y se observan tal cual como se presentan en su estado natural. Se optó por este diseño de estudio dado que se levantó la información sobre el proceso productivo y la productividad, tal y como se presentaban en la empresa al momento de efectuar la investigación de campo [26].

Además, el estudio fue de corte transversal de acuerdo con su dimensión temporal. Los estudios transversales son aquellos en los que no se evalúa el cambio de una variable a lo largo del tiempo, sino que se mide sus valores en un momento específico [27]. El estudio fue transversal dado que los datos acerca de la producción de adoquines se levantaron una única vez.

Respecto al enfoque con el que se trataron los datos, fue una investigación cuantitativa. Este enfoque se concentra en la medición de los datos por lo que estos pueden estudiarse desde una perspectiva numérica, y someterse a procedimientos matemáticos o estadísticos. Se optó por este enfoque puesto que la evaluación del proceso y la productividad se realizó mediante mediciones numéricas. Adicionalmente se manejó la entrevista como técnica cualitativa, sin embargo, esta se aplicó como medio para obtener información complementaria que permita entender cómo se desarrolla el proceso desde la perspectiva de los trabajadores y del personal directivo de la empresa.

### **2.3 Modalidad de la investigación**

La modalidad de la investigación puede definirse como estudio de campo dado que la información se levantó directamente del fenómeno objeto de estudio, es decir, del proceso de producción de los adoquines.

También puede calificarse la modalidad como investigación aplicada, puesto que los datos del estudio tienen una relevancia práctica significativa al utilizarse como la base para lograr el mejoramiento en la organización.

### **2.4 Tipo de investigación**

La investigación propuesta fue de tipo descriptivo, que implica describir, registrar, analizar e interpretar los hechos que se desean estudiar [28]. Este tipo de investigación actúa sobre las realidades evidenciadas de los fenómenos que se estudian, y busca presentar su correcta interpretación. En este sentido, el estudio partió de la validación de la situación actual del proceso productivo de la empresa CR Solution que, a más de servir de diagnóstico situacional, permitió comprender las necesidades, a la luz de la gestión por procesos, para buscar mejoras en su gestión productiva.

### **2.5 Métodos de investigación**

El principal método a aplicar fue el analítico-sintético, que permitió comprender cada elemento de la producción de adoquines de la empresa CR Solution, desde el abastecimiento, hasta el embarque para entrega del producto, para luego, consolidar todos los aspectos requeridos, y así plantear procedimientos y políticas que aporten al logro de una mejor productividad [29].

### **2.6 Técnicas e instrumentos**

Como técnica de investigación se utilizó la observación y también la entrevista. Como instrumento se diseñó una lista de cotejo y un registro de observación. Con la lista de cotejo se levantó cada actividad y tarea del proceso productivo, así como también una guía de entrevista para que la persona a cargo del mencionado proceso confirme la gestión productiva de la empresa CR Solution. Además, se utilizó el registro de observación para documentar información adicional del proceso productivo como tiempos, personal que interviene, recursos, entre otros datos.

## 2.7 Operacionalización de las variables

Las variables del estudio se operacionalizaron definiendo sus dimensiones, indicadores, tipos de variable y descripción como se presenta en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Matriz de operacionalización de variables

<b>Variable</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Nivel sigma	Defectos en el proceso	Defectos por unidad DPU	Cuantitativa continua	Relación entre defectos y número de unidades por lote
		Defectos por oportunidad DPMO	Cuantitativa discreta	Relación entre número de defectos y total de oportunidades por lote
	Rendimiento	Unidades con defectos	Cuantitativa discreta	Número de unidades que tienen defectos por cada lote
		Tipo de defecto	Nominal	Tipo de defecto observado en las unidades
		Unidades desechadas	Cuantitativa discreta	Número de unidades con defectos que son desechadas
	Unidades con defectos aceptadas	Cuantitativa discreta	Número de unidades con defectos que no son desechadas, sino que son reprocesadas, o incluidas en el lote final	
Proceso de fabricación de adoquines	Secuencia del proceso	Etapas	Nominal	Número y nombre de las etapas que tiene el proceso
		Oportunidades del proceso	Cuantitativa discreta	Número de salidas o características correctas esperadas en el producto
		Descripción por etapa	Cualitativa descriptiva	Descripción de las etapas que sigue el proceso
		Recursos materiales por etapa	Cualitativa descriptiva	Descripción de las materias primas e insumos que se utilizan en cada etapa
		Recursos humanos por etapa	Cualitativa descriptiva	Descripción de los recursos humanos y su función en cada etapa
	Mediciones del proceso	Lotes	Cuantitativa discreta	Número de lotes
		Unidades por lote	Cuantitativa discreta	Número de adoquines por lote
Peso unitario		Cuantitativa continua	Peso de cada adoquín	

Todos los valores de la variable ‘nivel sigma’ se calculan a partir de los datos recopilados. Los valores de la variable proceso de fabricación de adoquines

## 2.8 Población y muestra

La población del estudio está constituida por el personal que labora en la organización y está compuesta por 11 personas, 1 Gerente, 2 administrativos, 1 comercial y 7 trabajadores en el área de producción. Para la realización de entrevistas se consideró a 3 trabajadores y un supervisor del proceso de producción.

**Tabla 8.** Población y muestra

<b>Personal</b>	<b>Cantidad</b>
Gerente	1
Personal administrativo	2
Personal del área comercial	1
Trabajadores del área de producción	7
<b>Total</b>	<b>11</b>

## 2.9 Técnicas e instrumentos

Las técnicas e instrumentos que se utilizaron en el estudio se presentan en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

<b>Necesidades de información</b>	<b>de Informantes</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Información descriptiva del proceso de producción de adoquines	Trabajadores	Entrevista	Guion de entrevista
Información cuantitativa sobre el resultado del proceso	Proceso	Observación	Registros del proceso Registro de observación

Los formularios correspondientes a la entrevista y a la observación se adjuntan como anexo.

## 2.10 Conclusiones del capítulo

La investigación enfocada a la mejora de procesos requiere de técnicas y procedimientos de levantamiento de datos que den evidencia del grado de eficiencia y

productividad de los procesos evaluados. En consonancia con la metodología Seis sigma, para el presente estudio se lleva a cabo la aplicación de observaciones a través de las cuales se realice un registro de datos y del proceso, el cual se complementa con la información obtenida de las entrevistas a los trabajadores.

## **CAPÍTULO 3**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.1 Introducción**

Luego de aplicar los instrumentos diseñados para recolectar información referente al proceso de producción de los adoquines, se procede a describir y analizar los datos de la empresa como mapa de procesos, estructura, especificaciones del adoquín, principales problemas de fabricación y descripción del proceso.

Toda esta información que se presenta de manera concreta, además de brindar una perspectiva más precisa de la situación actual del proceso de fabricación de adoquines, fue la base para la construcción de la propuesta que se presenta en el capítulo 4.

#### **3.2 Descripción de la situación actual**

Para comprender de mejor manera la situación actual de la empresa, se presentan a continuación datos como la estructura, mapa de procesos, etapas del proceso de fabricación, descripción de las características del producto, e incluso algunas observaciones que se efectuaron para comprobar los principales problemas de la fabricación de adoquines.

Es importante mencionar que toda esta información que se presenta, ha sido proporcionada por los colaboradores de la entidad analizada, ya sea mediante entrevista, conversación o al permitir la observación de algunos lotes del proceso de fabricación de los adoquines, con fines netamente académicos.

##### **3.2.1 Entrevista**

En primera instancia, se efectuó una entrevista a un colaborador de la empresa CR Solution, según la guía incluida en el Anexo 1, cuyo resumen de resultados es el siguiente:

##### **Datos del entrevistado**

- Edad: 29 años

- Género: Masculino
- Cargo en la empresa: Jefe de producción

### **Respuestas**

1. ¿Puede describir el proceso de producción de adoquines en su totalidad?  
¿Cuáles son sus etapas y qué actividades se realiza en cada una?

- 1) Adquisición y transporte a la planta de materia prima
- 2) Dosificación de la mezcla
- 3) Proceso de mezclado
- 4) Vertir la mezcla en la maquina vibro compactadora
- 5) Proceso de compactado y vibrado
- 6) Retiro de adoquines
- 7) Fraguado y curado.

2. ¿Qué tipos y cantidades de materias primas utilizan en cada lote, y cuántas unidades esperan obtener con esa cantidad?

- 50 kg de cemento industrial HE
- 200 kg de agregado fino
- 200 kg de agregado grueso (chispa)
- 30 kg de agua

Se espera obtener 60 unidades de adoquín.

3. ¿Cuántas personas laboran en el proceso de producción, en qué etapas y que actividades realizan?

4 personas en el proceso de producción.

- 1 (proceso de mezclado)
- 1 (proceso de compacto y vibrado)
- 1 (proceso de retiro del adoquín en pallets)
- 1 (proceso de fraguado y curado)

4. ¿Cuántos lotes se producen a la semana, y de qué factores depende la cantidad de lotes producidos?

- 300 lotes semanales

Factor: Clima, maquinaria defectuosa, materia prima

5. ¿Qué problemas puede describir usted, que tiene la ejecución del proceso y qué defectos tienen los productos terminados?

Problema: Desgaste de moldes, rotura de rulimanes.

Defectos: Dimensiones de adoquín, porosidad, resistencia

6. ¿Qué factores son los más relevantes en cuanto a la calidad de los productos terminados? ¿Peso, densidad, tamaño?, ¿Existen variaciones importantes en estos aspectos?

Factores: Peso, densidad, tamaño

No, porque se debe mantener los límites permisibles según la norma INEN.

7. ¿Qué tipos de controles de calidad se llevan a cabo durante el proceso de producción?

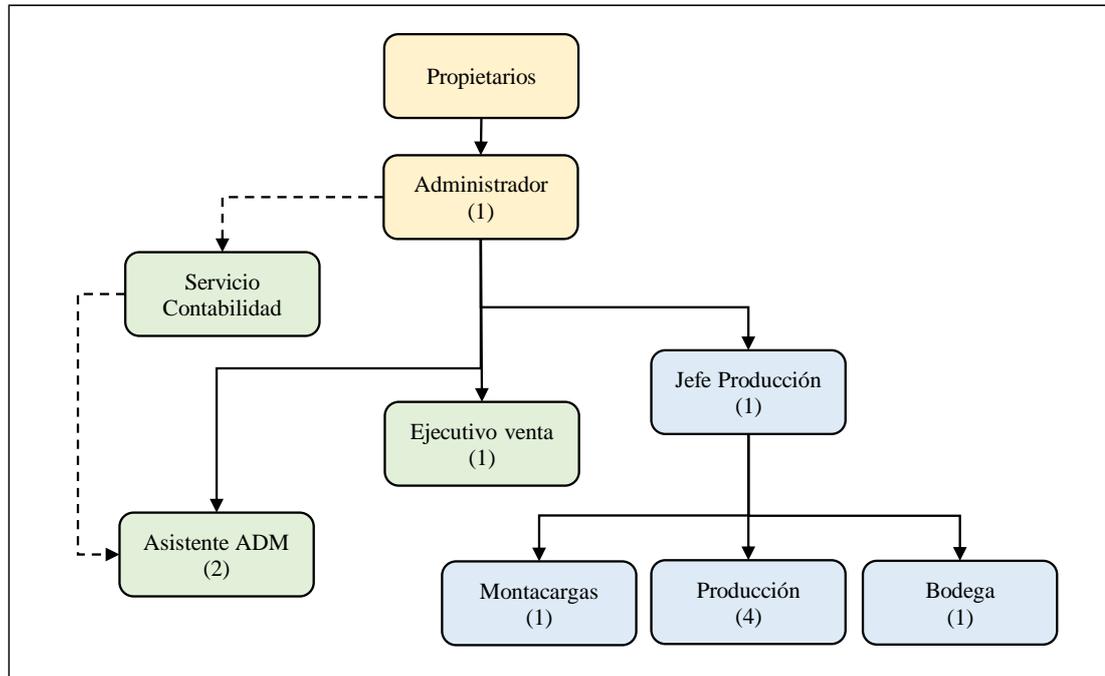
- Manejabilidad de la mezcla
- Dimensionamiento
- Control de Fraguado

Esta información ha sido considerada, conjuntamente con las observaciones del proceso y de los lotes de producción, para consolidar la estructura, proceso y demás datos que se incluyen en este capítulo.

### **3.2.2 Estructura de la empresa**

La empresa es una entidad que, por la cantidad de personal, se puede incluir dentro de la clasificación de una pequeña empresa, ya que cuenta con un número total de 11

colaboradores, incluyendo el administrador. En base a esto, se elaboró de forma general un organigrama de personal como se observa en la Figura 4.



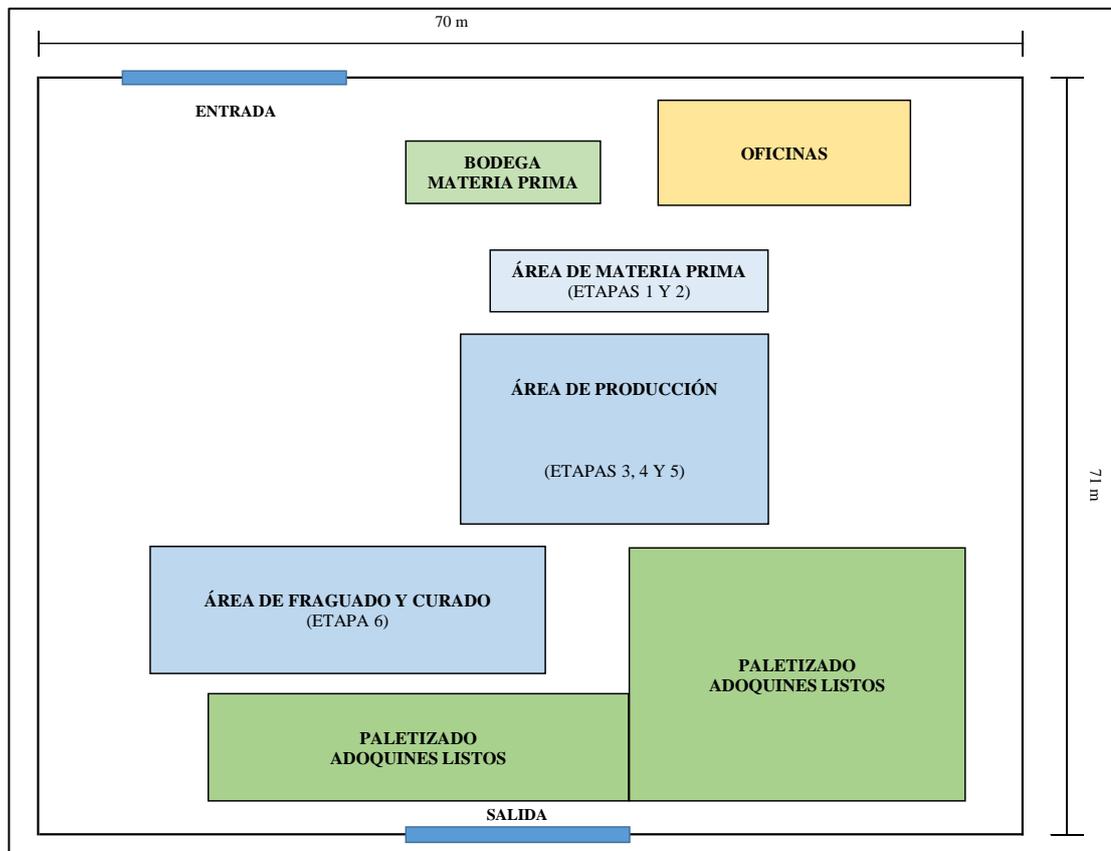
**Figura 4.** Organigrama de personal de la empresa

Bajo la autoridad del Administrador, quien rinde cuentas a los propietarios, se encuentra en color celeste al área de producción con un total de 7 personas, entre las que se cuenta 1 Jefe de producción, 1 operario del montacargas que también aporta con la recepción y entregas, 1 operario encargado de la bodega y el inventario de materia prima, que además ayuda en ciertas actividades de las entregas, y 4 operarios dedicados a la producción, con la meta de lograr 60 lotes cada día y alcanzar los 300 semanales.

En color verde se han incluido posiciones administrativas, como al Ejecutivo de ventas, y los 2 asistentes que se encargan de toda la coordinación interna de apoyo al Administrador, y también brindar soporte a la gestión logística y comercial. Así también, se presenta, a manera de staff, el servicio de contabilidad, que es necesario por motivos del volumen de facturación que la empresa genera cada año.

### 3.2.3 Esquema distributivo de las instalaciones

La empresa cuenta con un terreno grande, adecuado a las necesidades del giro de negocio que efectúa, ya que alcanza los 5.000 m<sup>2</sup>, de los que, como consta en la Figura 5 que se ha realizado en proporción, se podría disponer de hasta 3.500 m<sup>2</sup> para la producción.



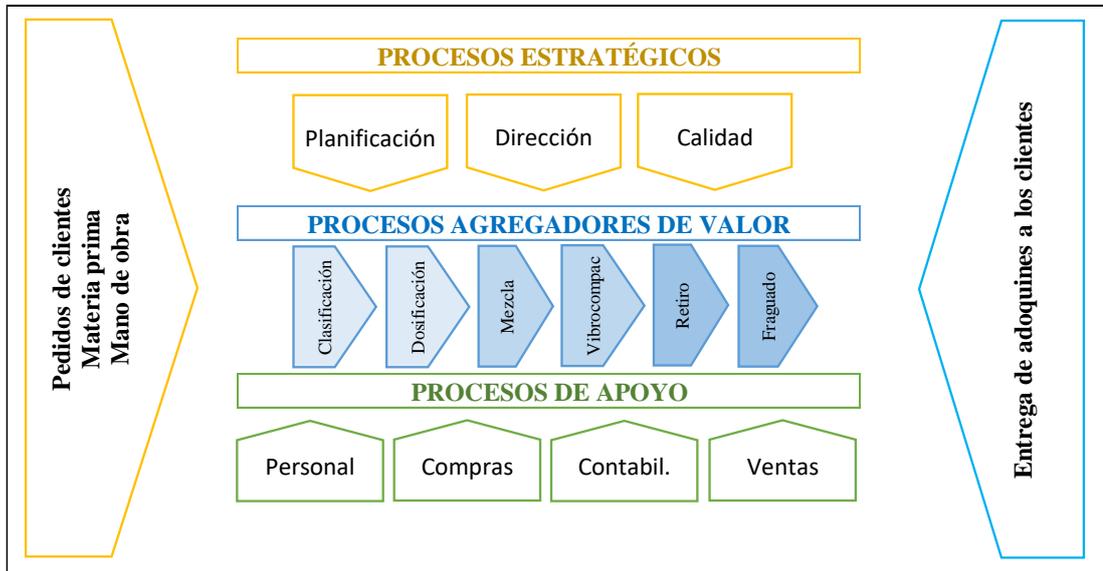
**Figura 5.** Esquema de las instalaciones

En la Figura 5 precedente, el área de gestión de materia prima, en la que se desarrollan las etapas 1 y 2 del proceso de fabricación, tiene alrededor de 100 m<sup>2</sup>. El área de mezclado tiene 12 m<sup>2</sup>, la de compactado también 12 m<sup>2</sup> y la de retiro 10 m<sup>2</sup>. Para el fraguado y curado de los adoquines se dispone de 1.000 m<sup>2</sup>, mientras que hay alrededor de 876 m<sup>2</sup>, para ubicar en pallets los productos terminados listo para entrega.

### 3.2.4 Mapa de procesos de la empresa

La empresa concentra su esfuerzo en la fabricación de adoquines de hormigón, en ese sentido, las etapas del proceso de fabricación constituyen parte de los procesos generadores de valor u operativos, como se observa en la Figura 6. Los contratos con

los clientes públicos o privados constituyen, conjuntamente con la materia prima, las entradas. Mientras que, como salidas, se han registrado a los adoquines fabricados bajo las condiciones solicitadas, para cada cliente y contrato. Así también, se han añadido procesos estratégicos, entre los que se incluyó a la planificación y dirección que realiza el administrador, pero también la calidad de las unidades producidas, que es una preocupación constante, para mantener los clientes y la calificación como proveedor estatal.



**Figura 6.** Mapa de procesos

Como procesos de apoyo se incluyeron principalmente los de manejo de personal, los de abastecimiento, que no se consideraron como parte del proceso productivo, los de registro y reporte contable, y finalmente, los de ventas, que constituyen un elemento indispensable para la generación de los pedidos a la empresa.

### 3.2.5 Levantamiento del proceso

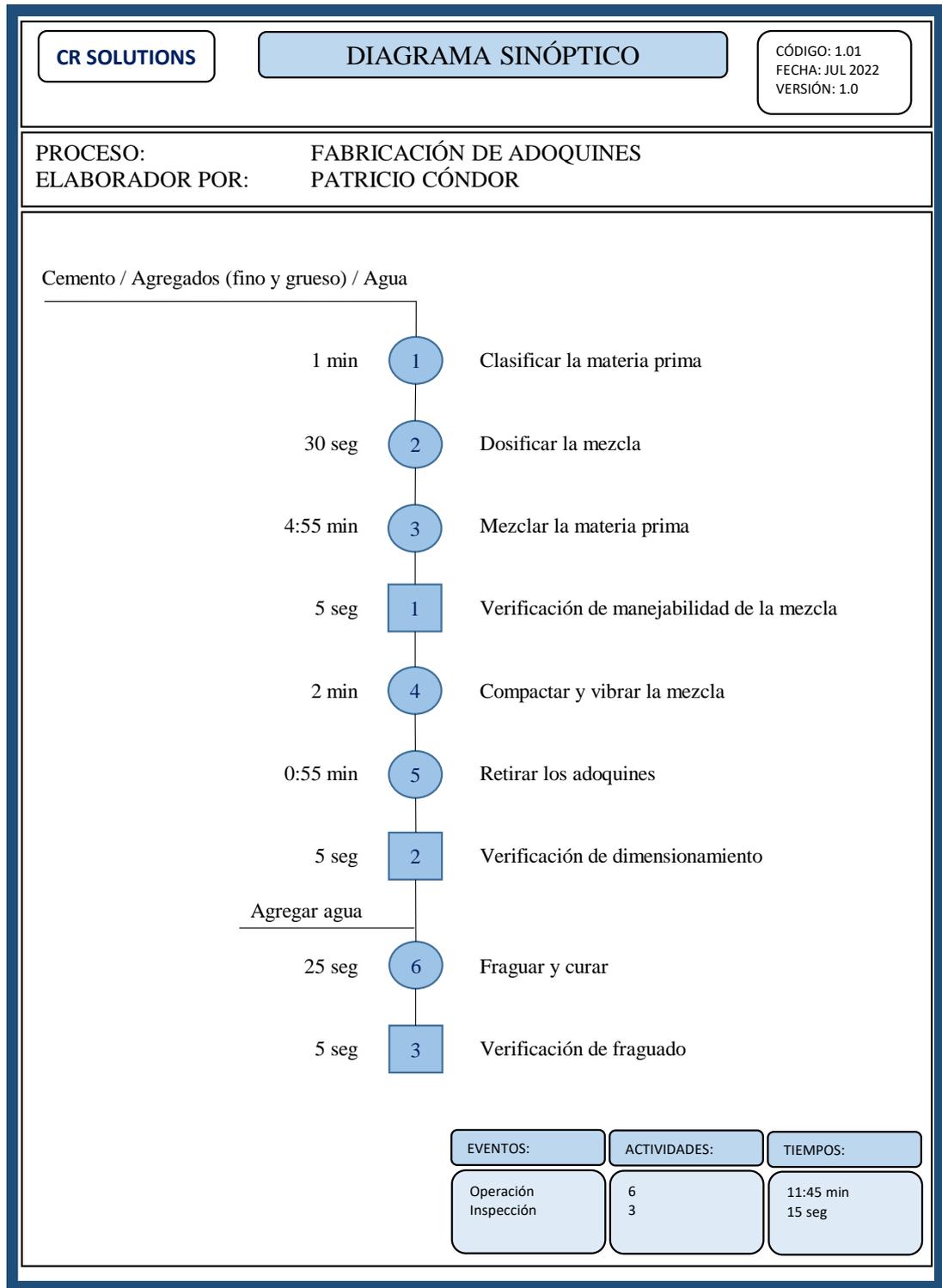
Con el apoyo del formato incluido en el Anexo 2, se procedió, previa autorización de la empresa, a levantar el proceso de fabricación de adoquines, en el que se identificaron de manera directa 6 etapas principales (Ver Anexo 4), como se observa en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Levantamiento del proceso

<b>Etapa</b>	<b>Descripción de la etapa</b>	<b>Recursos utilizados</b>	<b>Tiempo esperado</b>
Clasificación de la materia prima	Se clasifica los diferentes materiales en proporciones acorde a estudios previos para obtener la resistencia deseada.	<b>Materiales /insumos</b> Cemento industrial HE / Agregado fino / Agregado grueso (chispa) / Carretillas, palas <b>Recursos humanos</b> Personal de paleado	1 min
Dosificación de la mezcla	Se dosifica cada uno de los materiales que formarán la mezcla	<b>Materiales /insumos</b> Cemento industrial HE / Agregado fino / Agregado grueso (chispa) / Recipientes dosificación <b>Recursos humanos</b> Personal de dosificación	30 seg
Proceso de mezclado	Se mezcla las cantidades dosificadas, en la mezcladora industrial por el lapso de 5 minutos promedio. Se efectúa una verificación de la manejabilidad de la mezcla.	<b>Materiales /insumos</b> Mezcla de la materia prima / Mezcladora <b>Recursos humanos</b> Personal de mezclado	5 min
Proceso de compactado y vibrado	Se procede a abrir las compuertas de la mezcladora para colocación de la mezcla en moldes de la maquina vibro prensadora. Entonces se vibra y compacta de manera simultánea la mezcla	<b>Materiales /insumos</b> Mezcla / Vibro compactadoras / Moldes <b>Recursos humanos</b> Personal de vibrado y compactado	2 min
Retiro de adoquines	Se procede al retiro del producto en coches metálicos para ubicar en el área de fraguado. Se efectúa un control del dimensionamiento de los adoquines.	<b>Materiales /insumos</b> Vibro compactadoras / coches <b>Recursos humanos</b> Personal de retiro de adoquines	1 min
Fraguado y curado	Consiste en el curado mediante el incorporo de agua durante su proceso de fraguado por al menos 7 días posteriores a su fabricación, para evitar la evaporación de su contenido de agua. Se realiza una validación del fraguado.	<b>Materiales /insumos</b> Pallets / Agua	30 seg

### 3.2.6 Diagrama del proceso

Una vez que el proceso productivo fue levantado, se procedió a realizar un diagrama sinóptico como consta en la Figura 7 que se presenta a continuación.



**Figura 7.** Diagrama sinóptico del proceso productivo

Las etapas del proceso, o actividades principales son 6, que toman, en tiempo estimado, unos 9 minutos y 45 segundos, pero, en este diagrama, con el fin de analizar de manera separada todas las acciones, se han separado las 3 verificaciones o controles que se comentó por el Jefe de producción, son efectuados dentro del proceso, con lo que se tendría un tiempo definido como estándar de 10 minutos.

### 3.2.7 Cursograma analítico del proceso

En la Tabla 11 se presenta el cursograma analítico del proceso productivo, en el que se incluyeron también las distancias recorridas por los operarios en las diferentes etapas que efectúan.

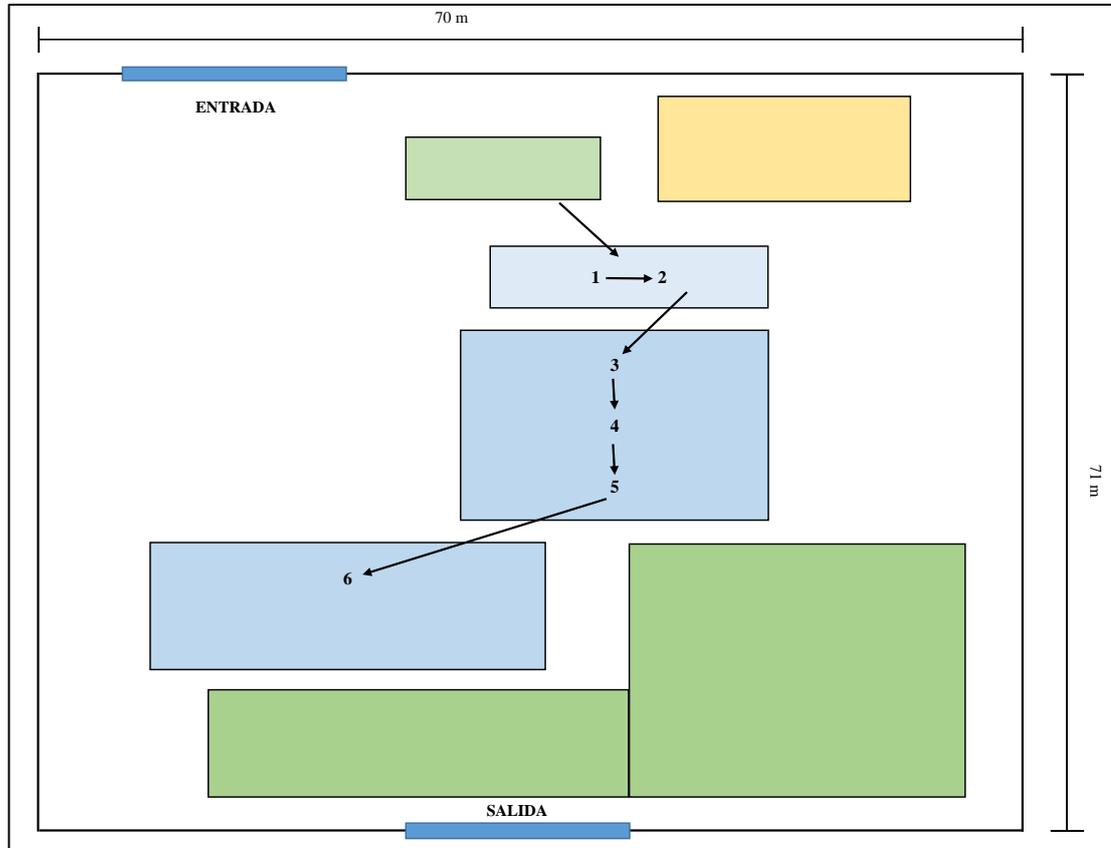
**Tabla 11.** Cursograma analítico del proceso productivo

Cursograma Analítico									
Diagrama número:	1	Hoja número:	1/1	Resumen					
Proceso analizado:				Actividad:		Actual			
Fabricación de adoquines de hormigón				Operaciones	●	6			
Etapas: Compra MP, Dosificación, Mezcla, Vibrocompactación, Retiro y Fraguado.				Transporte	➔				
				Demoras	Ⓚ				
Método Actual				Inspecciones	■	3			
Lugar:	CR Solutions			Almacenajes	▲				
Operarios:	4			Tiempo (min)	10:00				
Elaborado por:	Patricio Córdor			Distancia (m)	52				
Descripción	Cantidad	Distancia (m)	Tiempo (min)	Símbolo					Observaciones
				●	➔	Ⓚ	■	▲	
Clasificar la materia prima	480 kg	10	01:00	o					Desde bodega
Dosificar la mezcla	480 kg	2	00:30	o					
Mezclar la materia prima	480 kg	12	04:55	o					
Verificar manejabilidad de la mezcla	480 kg	0	00:05					o	En sitio, solo visual
Compactar y vibrar la mezcla	60	2	02:00	o					
Retirar los adoquines	60	2	00:55	o					
Verificar dimensionamiento	60	0	00:05					o	En sitio, solo visual
Fraguar y curar	60	24	00:25	o					
Verificar fraguado	60	0	00:05					o	En sitio, solo visual

Es importante mencionar que, si bien 4 operarios están destinados al proceso productivo de forma exclusiva, quienes laboran de manera enfocada en cumplir con el total de 60 lotes de producción por día. No se identificaron demoras, traslados que deban ser descritos o esperas que tengan que efectuarse durante el proceso. Si bien el fraguado toma algunos días, en la etapa denominada “Fraguado y curado” únicamente

se incluyó el tiempo y distancia dentro del lote, ya que, otro operario es el que efectúa el seguimiento del fraguado de los adoquines.

La mayor distancia que los operarios recorren es de 24 m aproximadamente, que se identificó en el respectivo esquema de las instalaciones, como se observa en la Figura 8. Mientras que las demás distancias son menores a 12 m, e incluso algunas se efectúan en el mismo sitio, pero se colocó 2 m como un rango máximo.

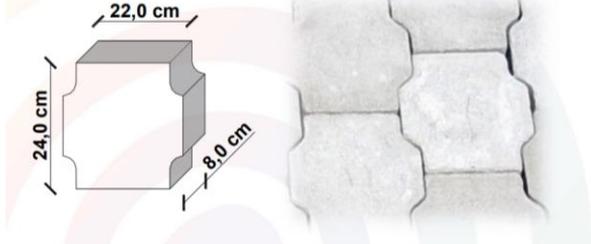


**Figura 8.** Distancias recorridas en el proceso productivo

### 3.2.8 Especificaciones del producto

De acuerdo a la información proporcionada por la empresa, a continuación se presenta en la Tabla 12, las especificaciones de los adoquines fabricados.

**Tabla 12.** Especificaciones del adoquín

<b>Descripción</b>	<b>ADOQUÍN HEXAGONAL DE HORMIGÓN. COLOR GRIS (Código CPC 373700017)</b>
Composición	Hormigón
Dimensiones	22,0 cm x 24,0 cm
Espesor	8,0 cm
Características	Alta regularidad, caras perfectamente escuadradas y paralelas, textura fina y algo rugosa en todas sus caras
Forma	
Resistencia	mínimo 300 Kg/cm <sup>2</sup>
Tolerancia	3.0 mm
NTE INEN	3040
Defectos no aceptables	Color Tamaño Forma Porosidad
Defectos aceptables	Dosificación Resistencia Absorción Peso, entre 7,5 y 8,5 Kg Manejabilidad Temperatura Densidad

### 3.2.9 Observaciones realizadas al proceso

Como parte del levantamiento de información, según el formato incluido en el Anexo 3, se procedió a tomar muestras de 10 lotes de producción de un día. Esta información incluyó el número de lote de ese día, el tiempo que tomó cada una de las etapas, la cantidad de materia y/o productos utilizados, los defectos encontrados, en cantidad y tipo, así como novedades. El peso de la materia prima que en todos los casos fue la misma, se tomó de lo mencionado por el Jefe de producción. En cambio, el peso de la producción, fue calculado en función de los productos que presentaron desperfectos de tamaño.

Desde la Tabla 13 hasta la 22, muestran los datos levantados, mismos que se considerarán en el siguiente capítulo, para efectuar la identificación de la problemática, así como también el análisis de mejora que permitirá incrementar la productividad del proceso de fabricación de los adoquines a la empresa CR Solution.

**Tabla 13.** Primera observación a un lote del proceso

# Lote	1	Peso total materia prima (Kg):		480	Peso total lote (Kg):	477
	ETAPA	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo defecto	Novedades
Datos observados	Clasificar la materia prima	01:04	480 Kg	0		
	Dosificar la mezcla	00:29	480 Kg	0		
	Mezclar la materia prima	07:59	480 Kg	0		
	Compactar y vibrar la mezcla	02:42	60 unid	4	1 resistencia, 1 forma, 2 tamaño	
	Retirar los adoquines	01:00	60 unid	3	rotura	
	Fraguar y curar	00:41	60 unid	2	1 porosidad, 1 absorción	

La Tabla 14 presenta la segunda observación realizada a un lote del proceso.

**Tabla 14.** Segunda observación a un lote del proceso

# Lote	6	Peso total materia prima (Kg):		480	Peso total lote (Kg):	475
	ETAPA	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo defecto	Novedades
Datos observados	Clasificar la materia prima	01:08	480 Kg	0		
	Dosificar la mezcla	00:32	480 Kg	1		Equivocación en la cantidad
	Mezclar la materia prima	08:16	480 Kg	0		
	Compactar y vibrar la mezcla	01:58	60 unid	7	3 resistencia, 2 forma, 2 tamaño	
	Retirar los adoquines	01:21	60 unid	1	rotura	
	Fraguar y curar	00:29	60 unid	2	porosidad	

En la Tabla 15 se muestran los datos obtenidos de la tercera observación a un lote del proceso.

**Tabla 15.** Tercera observación a un lote del proceso

# Lote	10	Peso total materia prima (Kg):		480	Peso total lote (Kg):		478
	ETAPA	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo defecto	Novedades	
Datos observados	Clasificar la materia prima	00:59	480 Kg	0			
	Dosificar la mezcla	00:35	480 Kg	1		Equivocación en la cantidad	
	Mezclar la materia prima	07:25	480 Kg	0			
	Compactar y vibrar la mezcla	02:30	60 unid	2	1 forma, 1 tamaño		
	Retirar los adoquines	01:08	60 unid	2	rotura		
	Fraguar y curar	00:28	60 unid	4	2 porosidad, 2 absorción		

Los datos relativos a la cuarta observación del lote del proceso se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Cuarta observación a un lote del proceso

# Lote	12	Peso total materia prima (Kg):		480	Peso total lote (Kg):		479
	ETAPA	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo defecto	Novedades	
Datos observados	Clasificar la materia prima	00:54	480 Kg	0			
	Dosificar la mezcla	00:28	480 Kg	0			
	Mezclar la materia prima	07:04	480 Kg	2	coloración		
	Compactar y vibrar la mezcla	01:53	60 unid	3	2 forma, 1 tamaño		
	Retirar los adoquines	01:11	60 unid	1	rotura		
	Fraguar y curar	00:35	60 unid	1	absorción		

La quinta observación realizada al proceso se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Quinta observación a un lote del proceso

#	20	Peso total materia prima (Kg):		480	Peso total lote (Kg):		476
Lote	ETAPA	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo defecto	Novedades	
<b>Datos observados</b>	Clasificar la materia prima	00:56	480 Kg	0			
	Dosificar la mezcla	00:38	480 Kg	0			
	Mezclar la materia prima	06:52	480 Kg	1		Manejabilidad inadecuada	
	Compactar y vibrar la mezcla	02:07	60 unid	7	3 resistencia, 1 forma, 3 tamaño		
	Retirar los adoquines	01:15	60 unid	1	rotura		
	Fraguar y curar	00:34	60 unid	1	porosidad		

En la Tabla 18 se encuentran descritos los datos de la sexta observación desarrollada al proceso productivo.

**Tabla 18.** Sexta observación a un lote del proceso

#	25	Peso total materia prima (Kg):		480	Peso total lote (Kg):		475
Lote	ETAPA	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo defecto	Novedades	
<b>Datos observados</b>	Clasificar la materia prima	01:01	480 Kg	1		Desperdicio de mp al palear	
	Dosificar la mezcla	00:35	480 Kg	0			
	Mezclar la materia prima	06:35	480 Kg	1	coloración		
	Compactar y vibrar la mezcla	02:22	60 unid	6	3 forma, 3 tamaño		
	Retirar los adoquines	00:59	60 unid	2	rotura		
	Fraguar y curar	00:44	60 unid	2	1 porosidad, 1 absorción		

La Tabla 19 presenta la séptima observación al lote del proceso.

**Tabla 19.** Séptima observación a un lote del proceso

# Lote	33	Peso total materia prima (Kg):		480	Peso total lote (Kg):		476
	ETAPA	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo defecto	Novedades	
Datos observados	Clasificar la materia prima	01:11	480 Kg	0			
	Dosificar la mezcla	00:29	480 Kg	0			
	Mezclar la materia prima	08:45	480 Kg	0			
	Compactar y vibrar la mezcla	02:01	60 unid	5	1	resistencia,	2 forma, 2 tamaño
	Retirar los adoquines	01:15	60 unid	3		rotura	
	Fraguar y curar	00:30	60 unid	1		porosidad	

Respecto a la octava observación al lote del proceso los datos se presentan en la Tabla 20.

**Tabla 20.** Octava observación a un lote del proceso

# Lote	39	Peso total materia prima (Kg):		480	Peso total lote (Kg):		479
	ETAPA	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo defecto	Novedades	
Datos observados	Clasificar la materia prima	01:15	480 Kg	0			
	Dosificar la mezcla	00:34	480 Kg	0			
	Mezclar la materia prima	07:00	480 Kg	1		Manejabilidad inadecuada	
	Compactar y vibrar la mezcla	02:22	60 unid	3	1	resistencia,	1 forma, 1 tamaño
	Retirar los adoquines	01:21	60 unid	2		rotura	
	Fraguar y curar	00:38	60 unid	2		1 porosidad,	1 absorción

La novena observación al lote del proceso se registró en la Tabla 21.

**Tabla 21.** Novena observación a un lote del proceso

# Lote	44	Peso total materia prima (Kg):		480	Peso total lote (Kg):		477
	ETAPA	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo defecto	Novedades	
<b>Datos observados</b>	Clasificar la materia prima	01:21	480 Kg	0			
	Dosificar la mezcla	00:27	480 Kg	2		Dudas al dosificar, desperdicio al palear	
	Mezclar la materia prima	06:35	480 Kg	0			
	Compactar y vibrar la mezcla	02:00	60 unid	3	1 forma, 2 tamaño		
	Retirar los adoquines	00:54	60 unid	1	rotura		
	Fraguar y curar	00:30	60 unid	2	absorción		

Por último, la Tabla 22 muestra la décima observación al lote del proceso.

**Tabla 22.** Décima observación a un lote del proceso

# Lote	48	Peso total materia prima (Kg):		480	Peso total lote (Kg):		478
	ETAPA	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo defecto	Novedades	
<b>Datos observados</b>	Clasificar la materia prima	01:27	480 Kg	0			
	Dosificar la mezcla	00:41	480 Kg	0			
	Mezclar la materia prima	06:18	480 Kg	0			
	Compactar y vibrar la mezcla	02:01	60 unid	3	1 resistencia, 2 forma		
	Retirar los adoquines	01:01	60 unid	2	rotura		
	Fraguar y curar	00:30	60 unid	3	2 porosidad, 1 absorción		

Es importante mencionar que, al consultar a los encargados del proceso la cantidad de desechos que se genera por los productos con defectos, se dio la indicación de que no se desecha nada, sino que, dependiendo de la falla o desperfecto, se pueden vender al proveedor, se utilizan para la misma empresa o si fuera el caso extremo, se los vuelve a reprocessar. Esta situación se pudo verificar en las observaciones, en las que ningún producto defectuoso fue desechado, pero, varios de ellos fueron colocados a un lado para utilizarlos en la misma empresa, lo que, si bien implica no desechos, si afecta a la cantidad de adoquines que son vendidos por cada lote. Es decir que, existe una disminución por la mayoría de productos que presentaron desperfectos en la observación efectuada.

### **3.3 Conclusiones del capítulo**

Tal como se indicó en la definición del problema al inicio de este documento, la empresa CR Solution ha tenido un crecimiento importante en los últimos años, debido a que ha sido calificada como proveedor del estado, lo que ha incrementado notablemente su volumen de ventas. Si bien esto es positivo para la entidad, el crecimiento rápido, no permitió que se adecuaran algunas necesidades operativas, como la de implementar o documentar un proceso para la fabricación de los adoquines, que son su producto principal.

En los diferentes puntos incluidos en este capítulo, se evidenció que la empresa no tiene levantado el proceso de fabricación de los adoquines, que requiere lineamientos claros para estabilizar el nivel de la producción efectiva de cada lote, por cuanto existen defectos identificados en la producción, entre los que destacan forma, tamaño, rotura, resistencia, color, etc. Todos estos datos presentados, destacan la necesidad para implementar la metodología DMAIC que se describe en el siguiente capítulo.

## **CAPÍTULO 4**

### **PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE ADOQUINES**

#### **4.1 Introducción**

En función de la situación actual de la empresa CR Solution, que fue levantada en el capítulo precedente, se evidenció el trabajo enfocado de 4 recursos operativos, con la guía de un Jefe de producción, para obtener 60 lotes de producción de adoquines por día. Se comprobó también que no hay un documento del proceso, ni tampoco han recibido capacitaciones específicas del proceso, sino que, más bien se efectúa con la guía del Jefe de producción y en base a la experiencia de cada trabajador. Además, se pudo verificar en 10 observaciones efectuadas, que hay un número de productos que salen con desperfectos, por distintos motivos, los que en su mayoría no pueden ser comercializados, y que son utilizados en la misma empresa o incluso reprocesados, en los casos extremos.

Bajo este contexto específico, se partió para el planteamiento de la propuesta de aplicar una metodología DMAIC para mejorar la productividad del proceso productivo de la empresa analizada. Es así que este capítulo presenta una descripción general de la propuesta, luego desarrolla cada uno de los 5 componentes, con base a gráficas y herramientas efectuadas en base a la información levantada en el diagnóstico, en base a las que se observan las mejoras concretas. Luego de esto, se efectuó un análisis económico y la comprobación de hipótesis.

La presente propuesta parte de un problema específico que se ha diagnosticado, que corresponde a la cantidad de productos obtenidos con defectos en cada lote de fabricación. Si bien existen algunos defectos que podrían tolerarse en el contrato de un cliente, como por ejemplo si el adoquín se encuentra en un rango de peso, otros potenciales clientes no aceptarían este tipo de defectos, y la empresa no debería reutilizar en forma permanente para sí una parte de su producción, ya que esto implicaría el dejar de ganar por algunos productos de cada lote, lo que muestra una ineficiencia en el proceso de fabricación. Otro elemento que se pudo verificar en el diagnóstico fue el del tiempo variante que toma cada etapa del proceso, lo que impacta

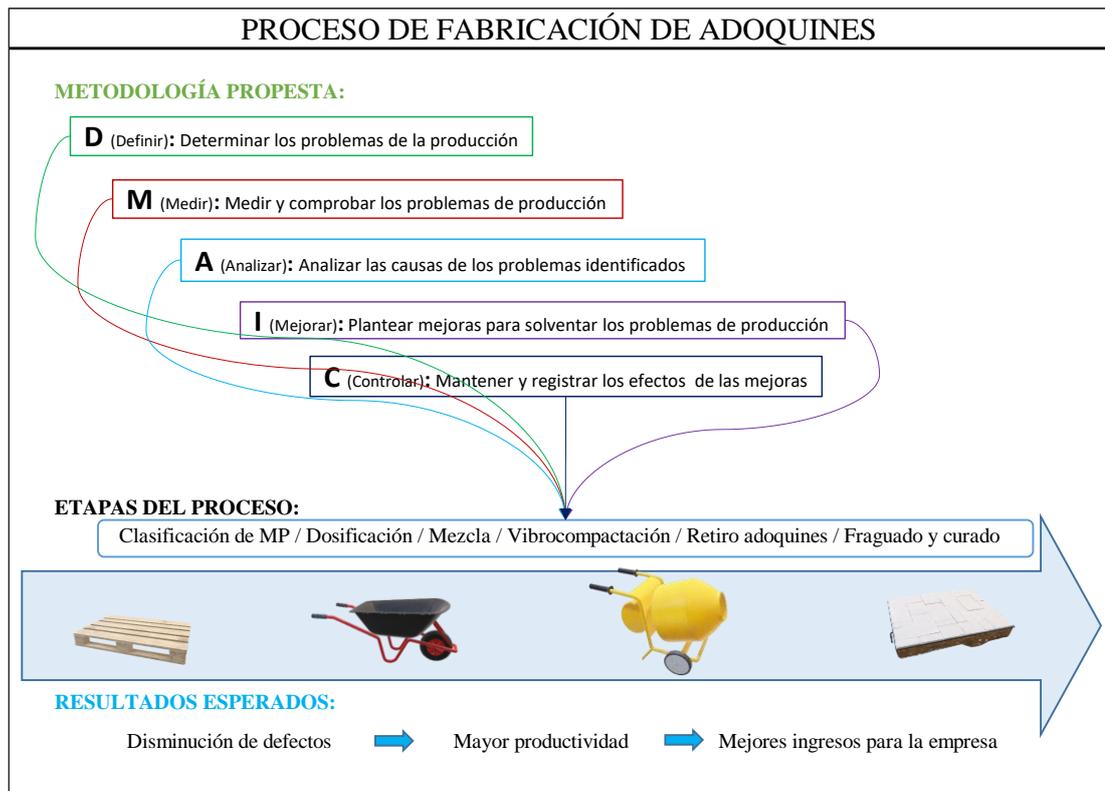
en la cantidad de lotes que podrían efectuarse en el tiempo total destinado para la fabricación diaria.

La metodología DMAIC constituye una herramienta moderna de gestión de calidad, la que ha sido aplicada en varios estudios, como se sustentó en el capítulo teórico y ha permitido la mejora de la productividad. Este fundamento ha motivado a plantear la presente propuesta que pretende mejorar la productividad de la empresa CR Solution, la que requiere mantener su nivel de ventas, e incluso incrementarlo, pero para ello debe mantener un alto estándar de calidad y de provisión de adoquines.

Si bien la empresa CR Solution será el principal beneficiario de esta propuesta, cualquier otra pequeña empresa que se dedique a la producción, y que tenga características similares a las de la entidad analizada, también puede considerar este documento como una guía para aplicar la metodología DMAIC en sus procesos agregadores de valor, y así obtener mejores resultados.

#### **4.2 Estructura de la propuesta**

La propuesta se enmarca en la mejora del proceso de producción de la empresa CR Solution, para una fabricación de adoquines más eficiente. Por ello, los 5 componentes de la metodología DMAIC serán aplicados a las 6 etapas del proceso, con la finalidad de lograr el objetivo de mejorar la productividad, como se evidencia en la Figura 9.



**Figura 9.** Esquema de la propuesta

En una primera instancia, se definirán concretamente los principales problemas de producción, sobre los que se debe tomar acción para mejorar la productividad. Luego se presentarán las mediciones obtenidas al observar los 10 lotes de fabricación. Como tercer paso se analizarán los datos, para identificar las causas que generan los principales problemas en base a los cuales se plantearán alternativas que ayuden a conseguir el objetivo principal de la propuesta. Finalmente, se darán algunas recomendaciones para mantener los resultados estimados, con los que se pretenden generar mayores ingresos para la empresa, sin que se tenga que invertir tiempo o en mano de obra adicionales.

### 4.3 Desarrollo de la propuesta

A continuación se desarrollan cada uno de los 5 componentes de la metodología DMAIC en el proceso de fabricación de adoquines de la empresa CR Solution, en función de los datos levantados en el capítulo precedente.

### 4.3.1 Etapa Definir (D)

La etapa de definición partió de la información del proceso productivo, la identificación de las etapas críticas y luego de definir el problema principal, se plantearon los puntos principales, a manera de una carta del proyecto.

#### 4.3.1.1 Diagrama SIPOC

Como consta en la Figura 10, los proveedores del proceso son en primera instancia los clientes que generan los contratos para la provisión de los adoquines, también se han considerado los proveedores de la materia prima que se utiliza para la fabricación del producto, así como los que se encargan del mantenimiento de la maquinaria que posee la empresa CR Solution para la producción. Los insumos o entradas son las especificaciones que se han colocado en los contratos, en las que pudieran variar principalmente colores, pero también en ciertos casos el peso, tamaño o forma de los adoquines. Otro insumo importante es el de la materia prima con la que se fabrican los adoquines, así como la mano de obra directa que se dispone para tal efecto.

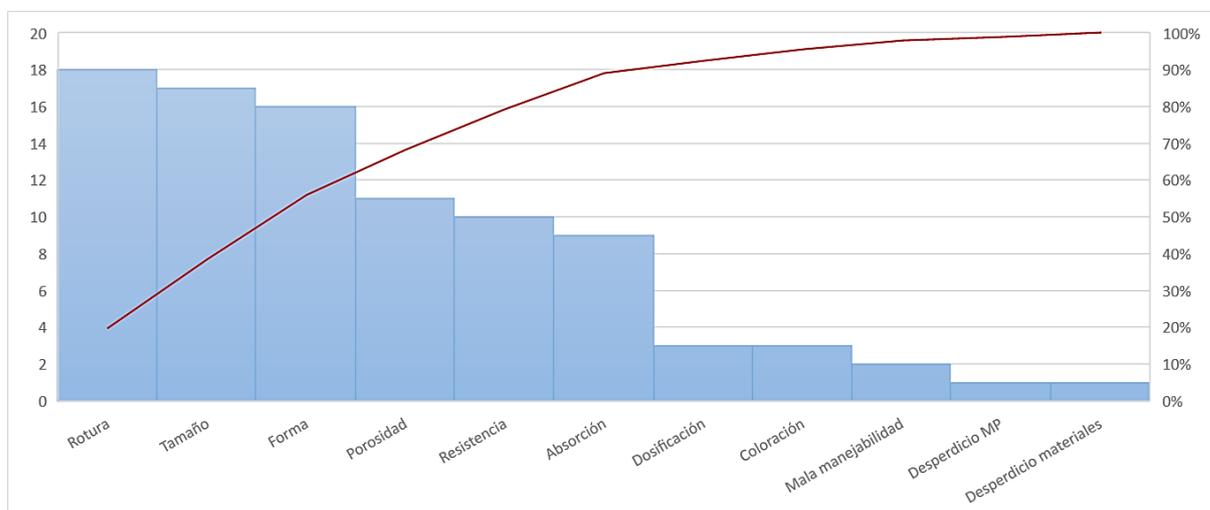


**Figura 10.** Diagrama SIPOC del proceso productivo [22]

El proceso de producción, tal como se evidenció en el capítulo anterior, consta de 6 etapas en las que se fabrican los adoquines, los que constituyen las salidas del proceso y deben estar de acuerdo a las especificaciones solicitadas por los clientes. Finalmente, los clientes son las entidades públicas y/o privadas que reciben los adoquines siempre y cuando estén de acuerdo a las especificaciones solicitadas.

### 4.3.1.2 Identificación de las etapas críticas del proceso

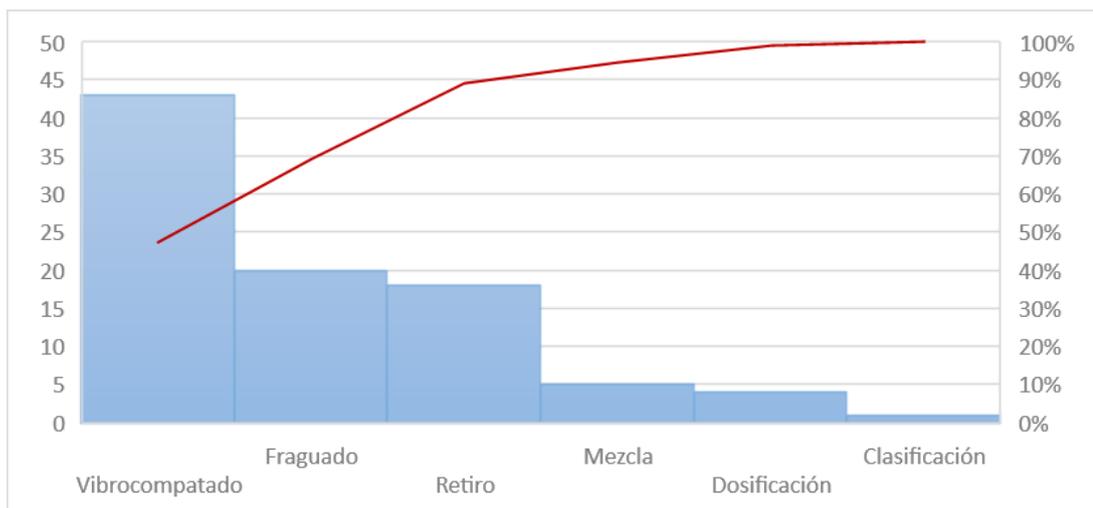
Para identificar las etapas críticas del proceso, se parte de la información levantada en las observaciones realizadas a 10 lotes de producción, la que se encuentra en las tablas que se adjuntan en el Anexo 5. En primera instancia se identificaron los tipos de defectos obtenidos, como se observa en la Figura 11.



**Figura 11.** Diagrama de Pareto del tipo de defectos en el proceso

De los 11 posibles defectos y falencias que se identificaron en las observaciones de los lotes de producción, se los que más recurrencia tuvieron son rotura (20 %), tamaño (19 %), forma (18 %), que alcanzan 56 % del total de los errores encontrados; porcentaje que al sumarle los errores de porosidad (12 %) y resistencia (11 %), constituyen el 80 % del total. Se determina entonces que la mayor parte de defectos encontrados en la producción de los adoquines son de rotura, tamaño (que implica peso), forma, porosidad y resistencia.

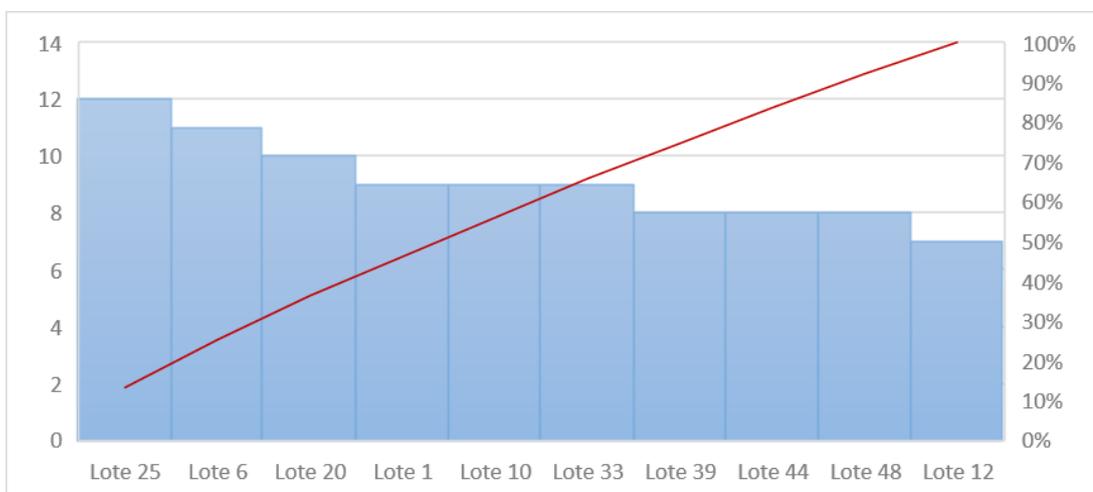
En el diagrama presentado en la Figura 12, se encuentran los datos de defectos totales ordenados por cada etapa del proceso en el que se produjeron, información que permitió determinar las etapas críticas del proceso de fabricación de los adoquines.



**Figura 12.** Diagrama de Pareto de defectos por etapa del proceso

En la gráfica precedente es clara la identificación de 3 etapas que destacan del resto, por la cantidad de errores que se identificaron en ellas. La principal fue la de Vibro compactado, en la que se generaron cerca de la mitad de los productos con desperfecto (47 %). El Fraguado y curado (22 %), así como el Retiro de los adoquines (20 %), constituyen también etapas en las que se debe tomar acciones específicas para evitar la generación de adoquines con defectos, lo que disminuye la productividad del proceso analizado.

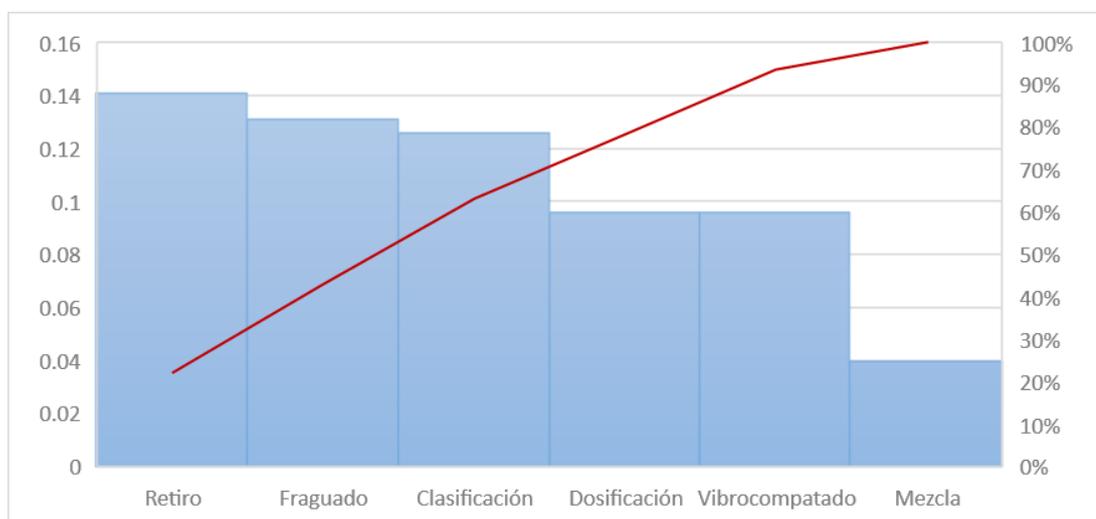
Así también, se presenta en la Figura 13, el diagrama de la cantidad de defectos por cada lote observado.



**Figura 13.** Diagrama de Pareto de defectos por lote observado

Este tercer diagrama permite verificar que si bien los lotes 25 (13 %), 6 (12 %) y 20 (11 %), son los que mayores defectos registran, sus porcentajes ascienden a 36 %, lo cual implica un poco más de la tercera parte de las observaciones, por lo que no se considera que haya algún lote en el que se haya generado una cantidad muy elevada de defectos, sino que, en general, los errores tienen una distribución bastante equitativa en las observaciones efectuadas. Es importante indicar que se escogieron lotes al azar, no consecutivos, con la finalidad de identificar si existían alteraciones en tiempos o cantidad de defectos que se atribuyeran a tendencias en la baja del rendimiento de los trabajadores, situación que no se evidenció de esta manera.

En la información observada por lote también se incluyó en tiempo real que se destinó para cada etapa del proceso, como se evidencia en las Tablas de la 12 a la 21 de este documento. En función de esos datos, se construyeron las tablas que se adjuntan en el Anexo 6. Según los datos de los excesos de tiempos, se presenta la Figura 14, que contiene el diagrama en relación por cada etapa del proceso.



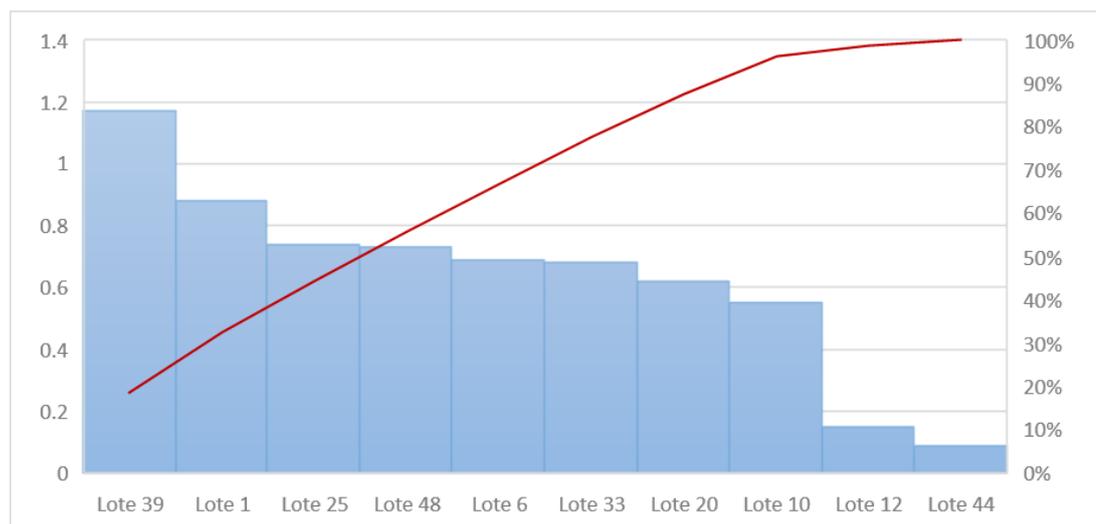
**Figura 14.** Diagrama de Pareto de excedentes de tiempo por etapa del proceso

De acuerdo al análisis precedente, el Retiro de los adoquines constituye la etapa con un mayor desfase de tiempo, respecto del estándar definido para tal efecto, ya que hay 22 % del total de desfases de tiempo en esta actividad de la fabricación de adoquines, la que la constituye como crítica. En segundo lugar, con un 21 % del total de excedentes de tiempo, respecto de del estándar, se encuentra la etapa de Fraguado y curado. También son importantes, por sus porcentajes respecto del total de excedentes,

las etapas de Clasificación de la materia prima (20 %) y la de Vibro compactado (15 %).

Esta información, al consolidarla con el análisis de generación de defectos, permite establecer como actividades críticas del proceso de fabricación de adoquines a la Vibro compactación, Fraguado y curado, y Retiro de adoquines.

Así mismo, se incluye en la Figura 15 el diagrama de los excedentes de tiempo pero agrupados por cada lote observado.



**Figura 15.** Diagrama de Pareto de excedentes de tiempo por lote observado

En este caso, los lotes 39 (19 %), 1 (14 %), 25 (12 %), 48 (12 %), 6 (11 %) y 33(11 %), con los que mayores porcentajes respecto del total de excedentes de tiempo presentaron. Los datos permiten verificar que no existe una tendencia marcada que muestre extensión de tiempos de cada lote mientras avanza la jornada, ya que, de los 6 principales casos, se distribuyen 3 hasta el lote 30 y 3 más desde ese lote en adelante.

Sin embargo, si se puede identificar que, los lotes 1, 6, y 33 han coincidido tanto en una mayor cantidad de productos con defecto, como en el exceso de tiempo respecto del total. Esta situación puede tener provenir de una pérdida del ritmo de trabajo por parte de los operarios, por distracción, o incluso pudiese deberse a falta de herramientas al momento de efectuar cierta parte del proceso como la dosificación. En todo caso, no se ha evidenciado una tendencia crecimiento de excesos de tiempo, que indique cansancio al pasar cierto número de lotes diarios.

#### **4.3.1.3 Definición del problema**

Luego de haber comprendido las etapas del proceso, analizado las observaciones a los lotes de producción de adoquines, y el nivel de afectación de la producción por los defectos y/o novedades, se identifican dos elementos principales en los que se debe tomar acción, que son:

- Desperfectos, existe una porción de adoquines con defectos, de los que, según las indicaciones de los encargados de la empresa, una parte no es aceptada y se debe reprocesar, mientras que otra si alcanza a pasar dentro de los rangos de pesos y características aceptados. Pero en todo caso, el nivel de adoquines con defectos se considera como el problema principal de esta investigación, ya que disminuye la cantidad de unidades que se entregan al cliente y por tanto, que generan los ingresos.
- Tiempos de cada etapa, otro elemento importante es el exceso de tiempos de cada etapa y del proceso en total, respecto del tiempo definido como estándar para la producción de adoquines. Se evidenciaron 9 lotes que superaron el tiempo establecido, mientras que en un caso puntual se pudo terminar antes de lo esperado. Este aspecto también incide en la productividad, ya que se podrían realizar más lotes en la jornada y así obtener una mayor cantidad de adoquines, lo cual implicaría más ingresos para la empresa.

Así también, se pudo identificar que las etapas críticas del proceso son la de Vibro compactación, la de Retiro de adoquines y la de Fraguado y curado, en las que se debería poner mayor cuidado por parte de los operarios para, sin exceder el tiempo estándar de cada actividad, obtener unidades sin defectos.

#### **4.3.1.4 Carta del proyecto**

En función de los aspectos descritos y determinados en esta etapa de la propuesta, que es el primer paso del DMAIC, coincidiendo en aspectos generales con la introducción de la propuesta, se presenta un resumen denominado carta del proyecto, en la Tabla 23 que consta a continuación.

**Tabla 23.** Carta del proyecto

<b>Nombre del proyecto</b>	<b>Propuesta de implementación de la metodología DMAIC en el proceso de fabricación de adoquines para mejorar la productividad de la empresa CR Solution.</b>
<b>Responsable del proyecto</b>	Jefe de producción
<b>Problema identificado</b>	En todos los lotes de producción observados, se obtuvieron unidades con defectos de fabricación. Además, también se evidenció que en la mayoría de lotes el proceso de producción toma más del tiempo que se definió como estándar para la fabricación de adoquines.
<b>Objetivo del proyecto</b>	Disminuir la cantidad de unidades que son fabricadas con defectos, así como también, reducir el tiempo real de ejecución del proceso total.
<b>Alcance</b>	Realizar el planteamiento de cómo debería implementarse la metodología DMAIC al proceso de fabricación de adoquines.
<b>Actividades</b>	Se establecerán actividades en las etapas Analizar (A), Mejorar (I) y Controlar (C) de la metodología DMAIC.
<b>Recursos</b>	Se dejarán planteados los recursos necesarios en la etapa Mejorar (I) de la metodología DMAIC, luego del respectivo análisis de causas de los problemas.
<b>Entregables</b>	Constituye la presente propuesta, que constituye la guía de cómo se debería implementar la metodología DMAIC en el proceso de fabricación de adoquines de la empresa.
<b>Partes involucradas</b>	Responsable del proyecto, Propietarios de la empresa, Administrador, Trabajadores.
<b>Amenazas del proyecto</b>	Como principal amenaza se destaca que los propietarios de la empresa CR Solution, no consideren que esta propuesta es una necesidad que permitiría beneficios concretos al mejorar la productividad del proceso de fabricación de adoquines y por tanto no se implemente.
<b>Tiempo del proyecto</b>	La preparación previa podría tomar al menos 1 mes, mientras que la implementación debería evaluarse al menos 3 meses para verificar los resultados deseados.

#### **4.3.2 Etapa Medir (M)**

En esta segunda etapa de la metodología DMAIC, se procesan y revisan los datos levantados que servirán para el análisis de la siguiente etapa. Los datos han sido presentados en el capítulo inmediato anterior de resultados, así como también revisados en la etapa precedente, para identificar el problema a solventar. A continuación se presentan precisiones concretas sobre los resultados de las observaciones, con el fin de efectuar la medición del nivel Seis sigma.

#### **4.3.2.1 Selección de los aspectos a medir**

Partiendo del problema definido en la etapa anterior, se consideran 2 elementos importantes que se deben medir en la presente investigación, la cantidad de unidades con defectos por cada lote, así como el tiempo real que toma el proceso de producción, en relación con el determinado como estándar por los administradores de la misma empresa.

Estos aspectos tienen un impacto directo con la productividad de CR Solution, ya que por un lado se disminuye la cantidad de unidades que se pueden comercializar, mientras que, por el otro, se podrían efectuar lotes adicionales en el mismo tiempo que se utiliza actualmente en cada jornada de fabricación de adoquines.

#### **4.3.2.2 Recopilación de datos**

Para contar con la información suficiente que permita valorar las potenciales causas de los problemas identificados en el proceso productivo de los adoquines, se diseñó un formato que consta en el Anexo 3, el que incluyó campos para levantar datos de los tiempos de cada etapa, así como de los defectos y/o novedades ubicadas en cada lote de producción observado.

En ese contexto, se tomaron aleatoriamente 10 lotes de producción, que en ningún caso fue consecutivo, para tener una muestra que permita validar resultados de los aspectos definidos a medir, evitando sesgo por hacerlo a una sola hora del día, como por ejemplo lotes de la mañana, o lotes de la tarde, cuyos resultados podrían variar por temas del cansancio de los trabajadores o aspectos climáticos.

Los datos levantados se presentaron desde la Tablas 13 hasta la 22 que constan en el capítulo tercero de resultados. Sin embargo, la información se consolidó en tablas que constan en el Anexo 5, referente a los defectos encontrados, y el Anexo 6, enfocado en los tiempos de cada lote de producción observado.

#### **4.3.2.3 Principales defectos**

En base de los datos del Anexo 5, se pudo apreciar que en las Figura 11 que existen 3 principales defectos que son, rotura, tamaño y forma, las que representan más de la mitad de los desperfectos totales encontrados en los 10 lotes observados. Estos 3

errores, de acuerdo a la información de la Tabla 12, no son aceptables, por lo que representan una disminución real para la producción de la empresa.

Así mismo, en la Figura 12 se identificó como críticas las etapas de Vibro compactación, Fraguado y curado, y la de Retiro de adoquines, cuyos porcentajes alcanzaron cerca del 90 % del total de errores observados.

En cambio, al observar en la Figura 13, la distribución de errores encontrados en cada lote encontrado, la mayor cantidad fue detectada en el lote 25, la que representó 13 % del total de las observaciones. En el caso de los defectos por lotes, no se visualizó una tendencia creciente o decreciente a lo largo de la jornada.

En todo caso, como consta en el Anexo 5, se registraron 91 novedades, lo que, respecto a una producción de 60 adoquines por cada lote revisado, que alcanza las 600 unidades, equivale a un promedio del 15,17 % de producción que no es comercializada, por no cumplir con los estándares y, como se indicó previamente, en unos casos se reutiliza en la empresa, mientras que en otros se reprocesa en otro lote posterior. Sin embargo, para efectos de la presente propuesta, se consideran todos los errores como desperfectos que disminuyen la productividad de la empresa.

#### **4.3.2.4 Tiempo del proceso**

El segundo problema identificado en las observaciones efectuadas, se relaciona con el tiempo que toma la ejecución del proceso de producción de la empresa. El que, según la indicación de las autoridades, debe ser de 10 minutos. En la Figura 14 se visualiza a 3 de las 6 etapas del proceso que son las que presentaron mayores excedentes de tiempo. Por ejemplo, la etapa de Retiro de adoquines que debe efectuarse en 1 minuto, llegó a efectuarse en 1 minuto y 21 segundos (35 %). El tiempo promedio de las 10 mediciones fue 14 % mayor que el estándar. Caso similar fue el del Fraguado y curado, que excedió hasta en 45 % en el lote 25, en el que se efectuó en 44 segundos, con relación a los 30 segundos definidos como estándar.

Pero también se puede ver en la Figura 15 que el lote 33, se efectuó en 11 minutos y 42 segundos, lo que equivale a un 17 % más del tiempo estimado como estándar. Otro lote que tardó 16,3 % más fue el primero, que tomó 11 minutos con 37 segundos. Únicamente el lote 44 fue ejecutado en un tiempo levemente menor al estándar, ya que se terminó por completo en 9 minutos y 54 segundos. Así también los lotes 12 y 48

tuvieron excedentes muy bajos, mostrando que sí se puede efectuar el proceso en un tiempo muy cercano al establecido como estándar.

En los datos descritos en el Anexo 6, en el que se incluyeron promedios de todos los lotes, se destacó que es posible realizar el proceso en menos del tiempo estándar (9 minutos y 54 segundos), pero que en general tarde más de 10 minutos, llegando como máximo hasta cerca de 12 minutos (lote 33). En promedio, el tiempo real de las 10 observaciones fue de 10 minutos con 46 segundos, es decir un 7,73 % más que el tiempo estimado como estándar del proceso.

#### 4.3.2.5 Medición del nivel Seis sigma

En función de los datos obtenidos respecto de las unidades con defectos que se encontraron en cada lote, se procedió a aplicar las fórmulas para calcular la cantidad de Defectos por Unidad (DPU) y los Defectos por millón de oportunidades (DPMO), presentadas en el punto 1.2.2.4. “Aplicación de DMAIC Seis sigma” [19].

$$DPU = \frac{d}{UL} * 100 \quad (3)$$

En donde:

DPU = Defectos por unidad

d = número de defectos, que en el caso observado fue de 91

UL = unidades por lote, que en el caso observado fue en total de 600

(60 por cada lote observado)

Al reemplazar los datos, se tiene que:

$$DPU = \frac{91}{600} * 100$$

$$DPU = 15,17 \%$$

Es decir que, el DPU para la situación actual del proceso de fabricación es de 15,17 %.

Así también se aplicó la fórmula del DPMO, como sigue [19].:

$$DPMO = \frac{d}{U*o} * 1'000.000 \quad (4)$$

En donde:

DPMO = Defectos por millón de oportunidades

d = número de defectos, que en el caso observado fue de 91

U = unidades, que en el caso observado fue en total de 600

(60 por cada lote observado)

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

Al reemplazar los datos, se tiene lo siguiente.

$$DPMO = \frac{91}{600 * 6} * 1'000.000$$

$$DPMO = \frac{91}{3600} * 1'000.000$$

$$DPMO = 25.277,78$$

Si se analiza esta cifra, en los niveles de Seis sigma que se presentaron en la Tabla 2, se tendría que el resultado de la fórmula está entre los niveles 3 y 4, como se evidencia en la Tabla 24.

**Tabla 24.** Nivel Seis sigma del resultado obtenido

Nivel de $\sigma$ (sigma)	Defectos por 1'000.000	Rendimiento del proceso	Defectos por 100
6	3,4	99,99966 %	0,00034
5	230	99,9770 %	0,023
4	6.210	99,379 %	0,621
<b>Calculado actual</b>	<b>25.278</b>	<b>95,955 %</b>	<b>2,53</b>
3	66.800	93,32 %	6,68
2	308.000	69,2 %	30,8
1	690.000	31 %	69

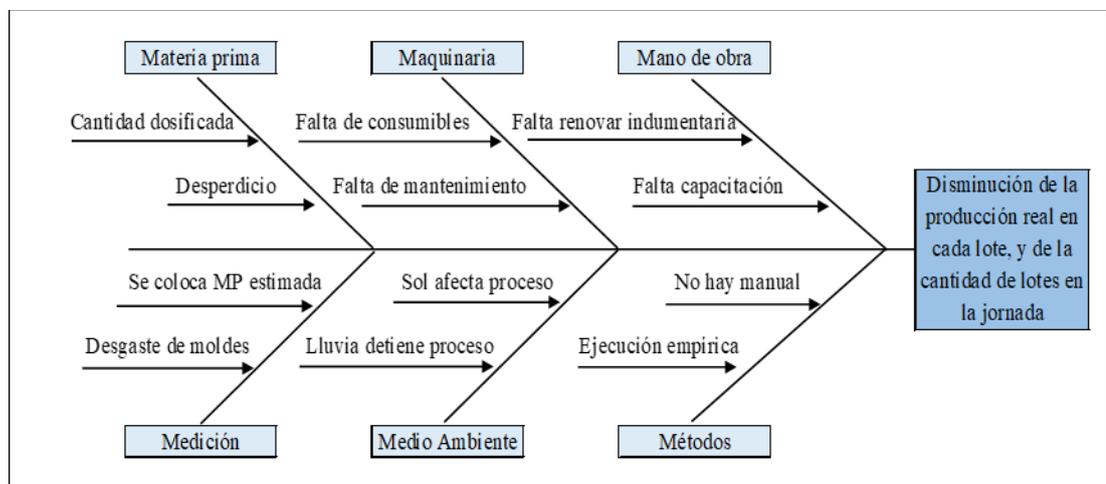
Es decir que, el valor calculado para la situación actual representa un rendimiento del proceso del 95,955 %, lo que muestra que se debe efectuar un trabajo de mejora para lograr una medición cercana al nivel de Seis sigma, que garantizaría una calidad óptima de los adoquines producidos en todos los lotes.

### 4.3.3 Etapa Analizar (A)

Esta tercera etapa de la metodología DMAIC pretende analizar los aspectos identificados y datos medidos, con la finalidad de conocer cuáles son las posibles causas que generan los problemas encontrados, y así, en la siguiente etapa, proponer acciones que permitan una mejora adecuada a la situación diagnosticada. Para el análisis se utilizaron dos herramientas como son el diagrama de causa y efecto, y la Matriz de análisis modal de fallos y efectos.

#### 4.3.3.1 Diagrama de causa - efecto

La primera herramienta que se utilizó para el análisis, fue la conocida como diagrama de pescado (Ishikawa) o causa y efecto, la cual consta como Figura 16, en la que se observan todos los factores que generan el efecto colocado al final.



**Figura 16.** Diagrama de causa - efecto

En cuanto a la materia prima, aunque en una mínima porción, se evidenciaron errores en la cantidad a dosificar por parte de los trabajadores, así como también un mínimo desperdicio, que de no controlarse, podría afectar en la generación de más desperfectos en la producción.

La maquinaria que tiene la empresa para efectuar el proceso de producción, permite que la fabricación se realice de manera más rápida y efectiva. En la observación se verificó que hay una mezcladora adecuada a la cantidad de materia prima utilizada en cada lote, así como dos vibro compactadoras que permiten la formación de los adoquines de cada tanda. Estas maquinarias presentan algunos inconvenientes, como

por ejemplo, el constante desgaste de los rulimanes, los que deben ser parte de un inventario de consumibles, para evitar una larga detención del proceso productivo. Otro tema delicado que se identificó, es que no se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo para las máquinas, sino que únicamente cuando se dañan se llama al proveedor para la solución puntual.

La mano de obra, que es uno de los factores críticos de éxito, tiene la necesidad de una capacitación respecto de cómo efectuar de manera más eficiente el trabajo, ya que, es gente con experiencia en el sector de construcción y con muy buena voluntad, pero que deben mejorar ciertos aspectos para optimizar los tiempos de cada etapa del proceso. También se evidenció que debe renovarse la indumentaria para un adecuado resultado del trabajo y protección del personal.

En cuanto a la medición, si bien se tiene recipientes adecuados para la dosificación, en ciertos momentos se detectó una duda de hasta qué nivel se debe poner la materia prima en dicho contenedor. Además, el desgaste constante de los moldes, por su uso permanente, hacen que sea una necesidad el mantener otros para intercambiar su uso y así poder mantenerlos en mejor estado.

El medio ambiente también juega un papel importante en este proceso, ya que la mayoría de etapas se efectúan al aire libre, dentro de las instalaciones de la empresa. El sol, si no se pone un plástico protector, o la lluvia pueden afectar a la producción.

Todo lo indicado, se suma en el hecho de que se efectúa el proceso productivo de manera empírica, es decir, con la guía verbal del Jefe de producción, y cuando hay cambio de personal, se entera de cada cosa al efectuarla, debido a que no se cuenta con un manual de producción, que incluya los procedimientos a considerar, por parte del personal, en cada etapa de la fabricación de adoquines.

#### **4.3.3.2 Matriz AMFE**

Esta segunda herramienta que se utilizó, permitió, ante cada falla potencial, identificar el efecto que genera, así como la posible causa y la recurrencia atada a un control actual que se tenga implementado en el proceso productivo.

Como se observa en la Tabla 24, existen 7 posibles errores que obtuvieron un número de prioridad de riesgo alto (60 puntos), ya que su efecto es alto y no se cuenta con un

registro de control, sino que, solamente se observa. Luego de la Tabla 24 se han colocado los detalles de las siglas utilizadas en el cuadro, así como sus niveles.

Como se evidenció en la Tabla 12, la dosificación es uno de los errores no aceptables para los adoquines, el cual puede ser producido por una cantidad inadecuada de alguno de los materiales utilizados para la fabricación de los adoquines.

Los otros fallos potenciales con NPR alto, son los de las 3 últimas etapas del proceso, Vibro compactación, Retiro de adoquines y Fraguado y curado, las que fueron calificadas como críticas, porque justamente en éstas se produjeron mayor cantidad de defectos, según las observaciones realizadas. Aquí se comprobó que las fallas de las máquinas, desgaste de moldes, pero sobre todo, la forma en cómo los trabajadores realizan estas 3 etapas, son clave para evitar o generar los defectos de las unidades producidas, por lo que, se identificó como una necesidad para mejorar el proceso, el realizar y socializar un manual del proceso que incluye procedimientos específicos, con imágenes, que los trabajadores puedan comprender y aplicar de manera fácil, mejorando así el estándar de producción en cuanto a calidad y tiempo.

En todas las fallas potenciales del cuadro, se colocaron acciones de mejora, las que disminuirían los NPR alcanzados en esta situación actual, pero que deberían volver a medirse nuevamente al aplicar las mejoras sugeridas, y así evaluar la mejora al proceso de producción, desde la perspectiva que brinda la herramienta de análisis AMFE.

En la Tabla 25 se presenta el nivel Seis sigma del resultado obtenido.

**Tabla 25.** Nivel Seis sigma del resultado obtenido

ETAPA	SITUACIÓN ACTUAL IDENTIFICADA									RESULTADOS DE LAS ACCIONES					
	Falla potencial	Efecto de falla potencial	SEV	Causa de la falla	OCU	Control actual	DET	NPR	Acción recomendada	Responsable	Acción tomada	SEV	OCU	DET	NPR
Clasificar la materia prima	Desperdicio MP	Producción del lote varía (menos MP)	2	Descuido del trabajador al momento de palear la MP	2	No se controla	5	20	Implementar control para evitar desperdicio de materia prima						0
Dosificar la mezcla	Dosificación	La mezcla no alcanza la manejabilidad requerida	4	Se efectúa de manera empírica, a criterio del trabajador	3	No se controla	5	60	Establecer y difundir procedimiento para la dosificación adecuada e implementar control						0
	Desperdicio de materiales	Producción del lote varía (menos MP)	2	Descuido del trabajador al momento de palear la MP	2	No se controla	5	20	Implementar control para evitar desperdicio de materia prima						0
Mezclar la materia prima	Mala manejabilidad	El adoquín no se forma de acuerdo a especificaciones	4	Mezclar menor tiempo del requerido o de forma inadecuada	3	Visual pero no se registra	4	48	Establecer y difundir procedimiento para la mezcla de manera adecuada						0
	Coloración	Adoquines de color distinto a los demás	5	Mezclar la MP en forma inadecuada	2	Visual pero no se registra	4	40	Establecer y difundir procedimiento para						0

SITUACIÓN ACTUAL IDENTIFICADA										RESULTADOS DE LAS ACCIONES					
ETAPA	Falla potencial	Efecto de falla potencial	SEV	Causa de la falla	OCU	Control actual	DET	NPR	Acción recomendada	Respon sable	Acción tomada	SEV	OCU	DET	NPR
									la mezcla de manera adecuada						
Compactar y vibrar la mezcla	Resistencia	El adoquín no tiene la resistencia mínima requerida	5	Fallas de la máquina	3	Visual pero no se registra	4	60	Elaborar un plan de mantenimiento para la máquina y adquirir un stock de consumibles como rulimanes						0
	Forma	Adoquines no cumplen la forma requerida	5	Desgaste de los moldes	3	Visual pero no se registra	4	60	Mantener en buen estado y/o reemplazar los moldes para los adoquines						
	Tamaño	Adoquines más pequeños o grandes de lo solicitado	5	Compactación inadecuada, no permite que el molde se llene completamente	3	Visual pero no se registra	4	60	Establecer y difundir procedimiento para que se efectúe la vibro compactación de manera adecuada						0
Retirar los adoquines	Rotura	Adoquines quebrados, con alguna rotura o fisura que lo descarta	5	Retirar el adoquín de manera brusca	3	Visual pero no se registra	4	60	Establecer y difundir procedimiento para retirar los adoquines de manera adecuada						0

SITUACIÓN ACTUAL IDENTIFICADA										RESULTADOS DE LAS ACCIONES					
ETAPA	Falla potencial	Efecto de falla potencial	SEV	Causa de la falla	OCU	Control actual	DET	NPR	Acción recomendada	Responsable	Acción tomada	SEV	OCU	DET	NPR
Fraguar y curar	Porosidad	Adoquines mal fraguados, no cumplen la especificación requerida	5	Carencia de control de las condiciones climáticas (sol, lluvia)	3	Visual pero no se registra	4	60	Establecer y difundir procedimiento para el secado adecuado de los adoquines, proporcionar insumos para evitar afección climática de los adoquines						0
	Absorción	Adoquines mal curados, no cumplen la especificación requerida	5	No se ha colocado agua adecuadamente, según el clima	3	Visual pero no se registra	4	60	Establecer y difundir procedimiento para el cuidado durante el fraguado de los adoquines, proporcionar recipiente para colocación dosificada de agua en los adoquines						0

A continuación se describe en la Tabla 25, las siglas y niveles utilizadas en la Tabla 25.

**Tabla 26.** Siglas y niveles de Seis sigma en la tabla 24

<b>SEV: Severidad</b>	<b>OCU: Ocurrencia</b>	<b>DET: Detección</b>
5 Muy alta	5 Muy alta	1 Muy alta
4 Alta	4 Alta	2 Alta
3 Media	3 Media	3 Media
2 Baja	2 Baja	4 Baja
1 Muy baja	1 Muy baja	5 Muy baja

NPR Número de prioridad de riesgo

#### 4.3.3.3 Factores que originan los defectos

Luego de aplicar las herramientas que permitieron el análisis de los resultados del proceso de producción, se determinan como causas principales que generan las unidades defectuosas en cada lote.

- Falta de lineamientos precisos a los trabajadores para efectuar la dosificación correcta en forma ágil, durante cada lote de producción.
- Carencia de mantenimiento preventivo para la maquinaria del proceso productivo.
- El desgaste de los moldes que se usan para fabricar los adoquines.
- Desgaste de algunos implementos de la indumentaria que tiene el personal para efectuar su trabajo.

En cuanto a los tiempos excedentes del proceso productivo, se puede establecer como causa principal a la falta de un manual de procedimientos, así como también una capacitación específica en el desarrollo de las destrezas necesarias para el éxito de cada etapa del proceso productivo.

#### 4.3.4 Etapa Mejorar (I)

De acuerdo al análisis efectuado en la fase precedente de la metodología DMAIC, se identificaron las causas que inciden de manera directa en los problemas principales que afectan a la productividad en la fabricación de adoquines. En ese sentido, en esta etapa se presentan las mejoras como soluciones a las causas mencionadas, es decir como acciones concretas que influirán en la productividad de la empresa CR Solution.

#### 4.3.4.1 Acciones de mejora

Ubicar las posibles causas que generan los problemas, permitió que se identifiquen 7 acciones de mejora que se presentan en la Tabla 27.

**Tabla 27.** Acciones de mejora

<b>Causas</b>	<b>Acción de mejora</b>	<b>Responsable</b>	<b>Entregable</b>	<b>Tiempo de la actividad</b>
Carencia de manual del proceso	Elaboración del manual de proceso de producción	Gerente	Documento aprobado, incluidos los respectivos procedimientos en cada etapa del proceso	3 semanas la elaboración
	Socialización del manual y los procedimientos	Jefe Producción	Informe de la reunión y control de asistencia	1 día la coordinación y 1 día la reunión
	Registro y control de producción	Jefe Producción	Documentos como parte del manual de producción	Aplicación permanente
Capacitación y renovación indumentaria del personal	Capacitación al personal operativo	Gerente	Plan de capacitación aprobado	1 semana la coordinación y 1 semana la ejecución
	Renovación de indumentaria para trabajadores	Jefe Producción	Overoles, botas caucho, guantes, mascarillas, tensores espalda, cubre orejas	1 semana para gestionar
Desgaste de moldes	Renovación de recipientes para dosificación y moldes para adoquines	Gerente	Recipientes adecuados para dosificar, moldes para adoquines, insumos para fraguado y curado	1 semana para gestionar
Falta de mantenimiento preventivo	Plan de mantenimiento para maquinaria	Jefe Producción	Documento aprobado, stock de consumibles	1 semana la gestión y aplicación permanente

Cada uno de estas acciones pretende aportar a la corrección de los problemas identificados, por ejemplo, la principal acción que debe tomar la empresa es la de elaborar un manual del proceso productivo, lo que aportará con lineamientos claros para que el personal sepa con precisión cómo realizar ciertas tareas específicas que son parte de las etapas del proceso, lo que además de minimizar errores, optimizaría el tiempo del proceso total.

Otro aspecto importante, es el de provisión de un stock de consumibles como rulimanes, para que se pueda, con un control adecuado, tener al alcance aquellos ítems que requieren las máquinas en forma periódica, por su funcionamiento de alto rendimiento, lo que evitaría la detención del proceso productivo. De la mano de este punto, el contar con un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria, se estaría asegurando su funcionamiento continuo, de acuerdo al requerimiento de producción.

La provisión de moldes extras permitiría intercalar su uso en los diferentes lotes, y así poder mantener los que no están en uso, sin detener la producción.

Finalmente, pero no menos importante, se identificaron 2 temas puntuales con respecto al personal del proceso productivo, el primero es que se requiere una capacitación específica del proceso de fabricación de adoquines, bajo los lineamientos que la empresa tiene. El segundo se enfoca en una renovación de la indumentaria adecuada para los trabajadores, que garantice su seguridad y ayude al cumplimiento de tiempos estándares de cada etapa del proceso.

#### **4.3.4.2 Análisis de factibilidad**

Las estrategias planteadas no representan propuestas demasiado complicadas de acoplar para la empresa, por tanto, son factibles de llevar a cabo, y con estas acciones se espera un resultado que incremente la productividad del proceso, disminuyendo las unidades con defectos, e incrementando la cantidad de lotes que se fabrican en cada jornada laboral.

En ese sentido, la Tabla 28 muestra de manera concreta, un análisis de factibilidad desde 3 perspectivas.

**Tabla 28.** Factibilidad de las acciones de mejora

<b>Acciones de mejora</b>	<b>Operativa</b>	<b>Técnica</b>	<b>Económica</b>
Elaboración del manual de proceso de producción	Definición de lineamientos y estándares para la ejecución de cada etapa del proceso	Un ingeniero industrial experto en procesos productivos	Valor por honorarios de realizar el manual
Socialización del manual y los procedimientos	Reunión para dar a conocer los procedimientos a los trabajadores	Explicación de la persona elaboró el manual	Valor por copias del manual y un refrigerio
Registro y control de producción	Formatos para el registro y control de calidad del proceso productivo	Elaborados por la persona elaboró el manual	Incluido en la elaboración del manual
Capacitación al personal operativo	Mejora de los conocimientos y destrezas para efectuar cada etapa del proceso productivo	Un ingeniero civil experto en la fabricación de adoquines	Honorarios del capacitador, material de apoyo y refrigerios
Renovación de indumentaria para trabajadores	Provisión de accesorio y uniformes que permitan realizar el trabajo de manera adecuada	Cotización y compra de indumentaria mínima requerida	Valor por Overoles, botas caucho, guantes, mascarillas, tensores espalda, cubre orejas
Renovación de recipientes para dosificación y moldes para adoquines	Provisión de moldes y recipientes adicionales para mejor conservación de los actuales	Cotización y compra de moldes y recipientes adecuados a la necesidad	Valor por moldes y recipientes para medida y pesado
Plan de mantenimiento para maquinaria	Contrato de servicio de mantenimiento preventivo con un técnico	Cotizar con el proveedor de la maquinaria o un técnico especializado	Valor por consumibles y mantenimiento trimestral, de acuerdo a necesidad

Como se observa en el cuadro, cada acción de mejora es factible tanto operativa como técnicamente, y requerirá una inversión baja, que deberá ser recuperada con los ingresos obtenidos al incrementar la productividad de la empresa.

#### 4.3.4.3 Presupuesto de mejora

En la Tabla 29, se presentan los recursos requeridos para aplicar cada acción de mejora, así como un valor estimado que tendría para la empresa.

**Tabla 29.** Presupuesto de las acciones de mejora

<b>Acción de mejora</b>	<b>Recursos</b>	<b>Costo</b>
Elaboración del manual de proceso de producción	Ingeniero industrial que elabore el manual	USD 800.00
Socialización del manual y los procedimientos	Copias del manual y refrigerio	USD 100.00
Registro y control de producción	Formatos diseñados para registro y control	N/A
Capacitación al personal operativo	Ingeniero civil con experiencia en adoquines, copias de material, refrigerios	USD 1,100.00
Renovación de indumentaria para trabajadores	Overoles, botas caucho, guantes, mascarillas, tensores espalda, cubre orejas	USD 1,760.00
Renovación de recipientes para dosificación y moldes para adoquines	Recipientes de medida y pesado	USD 400.00
Plan de mantenimiento para maquinaria	Mantenimiento preventivo de mezcladora, vibro compactadoras y stock de consumibles	USD 2,760.00
	<b>TOTAL</b>	<b>USD 6,920.00</b>

El presupuesto que bordea los 7 mil dólares, permitirá aplicar todas las acciones de mejora, y como se validará más adelante, será asumido por los ingresos adicionales que se espera recibir al incrementar la productividad, ya que se tendrá un porcentaje menor de unidades con defectos, y se podrá aumentar la cantidad de lotes efectuados cada jornada laboral.

#### **4.3.4.4 Manual del proceso productivo**

La principal de las acciones requeridas para el mejoramiento del proceso productivo, es sin duda la elaboración de un manual de procesos. Este manual deberá contar, para cada etapa, con una descripción clara y detallada, personal que debe participar, insumos cantidades y calidades, herramientas a usar, maquinaria y cómo activarla, desplazamientos requeridos, tiempo máximo y demás indicaciones que aseguren la ejecución de cada tarea. Por esto, es indispensable que, además de los lineamientos descritos a manera de procedimiento de cada fase del proceso, se incluyan imágenes que permitan una fácil comprensión para quienes van a ser los principales usuarios de este documento, los trabajadores de la empresa, ya sean los actuales, o incluso nuevos trabajadores que puedan incorporarse en un futuro, por reemplazo.

El manual también deberá incluir al menos 3 indicadores que permitan medir y conocer cómo está la calidad, la productividad y los tiempos del proceso productivo. Así también, será necesario que se elaboren formatos para el registro de los datos referentes al proceso, de una manera ágil y fácil, con la finalidad de contar con información que permita el cálculo de los indicadores de la gestión.

#### **4.3.4.5 Capacitación del personal**

Un segundo elemento de vital importancia para la mejora de la productividad, es sin duda el fortalecer los conocimientos del personal, lo que aparte de permitirle conocer con mayor claridad algunos detalles de la elaboración de adoquines, será un elemento que motive su compromiso para con la empresa.

Esta capacitación inicial permitirá conseguir que se incremente la productividad, ya que el personal es quien efectúa el proceso de fabricación de adoquines, y debe estar siempre actualizado. Otro objetivo que tiene la capacitación que se debe impartir al personal de la empresa CR Solution, es el desarrollo de las destrezas requeridas para cada etapa del proceso, lo que se logra mediante la puesta en práctica de los conocimientos teóricos, por ello, no solo es una capacitación explícita, sino también tipo taller, en el que los participantes efectúen las instrucciones otorgadas y comprueben la validez de la información que han recibido.

#### **4.3.4.6 Mantenimiento maquinaria**

Es sugerente que busque al proveedor de la maquinaria para solicitar una cotización de su mantenimiento preventivo. En caso de que no sea posible con el proveedor que vendió los bienes, o el costo sea muy alto, se podría también buscar un técnico que garantice especialización en ese tipo de maquinaria y sugiera el tiempo de mantenimiento, para que cada bien esté operando a toda su capacidad, evitando detenciones que disminuyan la productividad de la empresa.

Se ha pensado que, por el ritmo fuerte y continuo que se requiere de cada máquina, debería darse un mantenimiento trimestral, que debería ser fuera de la jornada laboral de los bienes, para no interrumpir el proceso de generación de ingresos de la empresa. En ese mismo sentido, deberán ser cotizados y adquirido un stock de consumibles, que se adecúe a la necesidad de desgaste por el alto rendimiento de las máquinas.

#### **4.3.4.7 Control de calidad y producción**

Se deben mantener controles constantes en el proceso de producción, los que no deberían ser vistos como trabas, acciones infructuosas, o incluso como formas de amonestar al personal. Por ello, tanto en la socialización del manual del proceso, en la capacitación, y en forma periódica, las autoridades de la empresa, deben transmitir a los trabajadores la importancia y necesidad del registro de los controles a la fabricación de adoquines. Si la entidad tiene mejores resultados, cada colaborador puede mantenerse seguro en su puesto, e incluso, si fuera el caso, recibir un reconocimiento por parte de los empleadores.

Por tanto, es sugerente que, quienes apliquen el control, lo hagan de una manera natural, sin querer causar miedo o impacto negativo en quienes participan en la producción de adoquines, y más bien se busquen formas de elogiar los logros de los trabajadores, para mantener su compromiso con esta importante gestión de la empresa.

#### **4.3.4.8 Evaluación de mejoras**

Si la empresa aplicaría las acciones de mejora sugeridas en esta etapa, los resultados de la productividad incrementarían como se presenta en las Tablas 30 y 31, en las que se puede evidenciar la disminución del tiempo promedio de los procesos, y por tanto el aumento de la fabricación de adoquines.

**Tabla 30.** Mejora en el tiempo promedio de los procesos

<b>Descripción</b>	<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Variación</b>
Tiempo esperado	10:00	10:00	
Tiempo promedio por lote	10:46	10:14	
% variación sobre Tiempo esperado	7.73 %	2.34 %	<b>-69.72 %</b>
Lotes al día	60	63	<b>5.26 %</b>

El tiempo estándar que se debe cumplir es de 10 minutos por cada lote. El tiempo promedio obtenido de las mediciones aplicadas al proceso actual, fue de 10 minutos con 46 segundos, es decir 7,7 % más de lo que se estimó como adecuado para un lote. Al definir procedimientos, dotar de implementos y capacitar, se podría tener una reducción que permita efectuar en menos de 10 minutos cada lote. Considerando los desplazamientos, factores externos y el cansancio que se genera la operación de este proceso, se ha pensado en que sería real una reducción del tiempo total del lote a 10 minutos con 14 segundos, lo que equivale a un desfase de apenas 2,3 % respecto del tiempo estándar. El reducir la brecha de 7 % a 2 % constituye una disminución del 70 %. Esto generaría que, en una jornada, se puedan efectuar hasta 63 lotes, en lugar de 60, sin aumentar horas o minutos adicionales.

La Tabla 31, además de la consideración de un menor tiempo para cada lote, incorpora el fruto de los controles que se proponen incrementar al proceso, lo que generaría una menor cantidad de unidades con defectos.

**Tabla 31.** Mejora la productividad del proceso

<b>Producción</b>	<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Variación</b>
Unidades por lote	60	60	
% con defectos	15.2 %	5.0 %	<b>-67.03 %</b>
Unidades con defectos	9.1	3.0	
Neta por lote	51	57.00	11.98 %
Lotes al día	60	63	5.00 %
Neta al día	3054	3591	
Neta a la semana	15270	17955	
Neta al mes	61080	71820	
Neta al año	732960	861840	17.58 %

Cada lote produce 60 adoquines, esta cantidad no será alterada, porque hacerlo representaría una mayor inversión para la empresa, dado que se requeriría una línea alterna de producción, o el cambio de maquinaria de mayor capacidad, elementos que no considera esta propuesta de mejora. Lo que sí considera este planteamiento, es reducir radicalmente la cantidad de adoquines que salen de cada lote con defectos, ya que, como se visualiza en la Tabla 30, disminuyen la producción efectiva que puede vender la empresa.

En el contexto explicado, al implementar lineamientos claros, capacitación e indumentaria al personal, moldes y recipientes adicionales, consumibles y mantenimiento para las máquinas, se podría casi anular los desperfectos de fabricación, pero para tener un panorama más real, se ha considerado bajar del 15 % al 5 %, lo que representa una importante incidencia en la cantidad neta de adoquines que se pueden vender en el año, que sería 17,6 % mayor a la actual.

Para evaluar el impacto de los resultados estimados, considerando la metodología Seis sigma, se aplicaron las fórmulas de DPU y DPMO a las nuevas cantidades, con lo que se obtuvieron los siguientes valores.

$$DPU = \frac{30}{600} * 100$$

$$DPU = 5,0 \%$$

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

$$DPMO = \frac{30}{600 * 6} * 1'000.000$$

$$DPMO = \frac{30}{3600} * 1'000.000$$

$$DPMO = 8.333,33$$

Aplicando este resultado del DPMO a los niveles de Seis sigma que se presentaron en la Tabla 1, se tendría que de mantenerse entre los niveles 3 y 4, ha mejorado el rendimiento, como se observa en la Tabla 32.

**Tabla 32.** Nivel Seis sigma de la propuesta

<b>Nivel de <math>\sigma</math> (sigma)</b>	<b>Defectos por 1'000.000</b>	<b>Rendimiento del proceso</b>	<b>Defectos por 100</b>
6	3,4	99,99966 %	0,00034
5	230	99,9770 %	0,023
4	6.210	99,379 %	0,621
<b>Calculado propuesto</b>	<b>8.333</b>	<b>98,666 %</b>	<b>0,83</b>
3	66.800	93,32 %	6,68
2	308.000	69,2 %	30,8
1	690.000	31 %	69

En esta nueva situación, el rendimiento del proceso sería del 98,6 %, lo que muestra que todavía existe un camino en el que se deben continuar acciones de mejora, una vez que se hayan aplicado las acciones planteadas en este documento. Sin embargo, al comparar el 98,6 % respecto del 95,95 % presentado en la Tabla 24, existe una mejoría de 2,7 puntos porcentuales, que corresponde a un aumento del 2,83 %.

#### **4.3.5 Etapa Controlar (C)**

Esta etapa final, es la que describe como se efectuará el seguimiento y monitoreo de la aplicación de las acciones de mejora que han sido planteadas a lo largo de la fase previa. Por ello, a más de presentar el cronograma de aplicación de mejoras y los elementos que se deben considerar para su éxito, se detallarán lineamientos que se deben efectuar para un adecuado seguimiento y acción de corrección, en caso de no alcanzar los estimados calculados en el proceso productivo.

##### **4.3.5.1 Implementación de las acciones de mejora**

En primera instancia, se presenta la Tabla 33, en la que consta el cronograma tentativo de implementación de las acciones de mejora descritas en la fase anterior. Se ha visto la necesidad de tener un mes calendario para gestionar todas las mejoras, a lo que se ha llamado “Fase de mejoras” en el siguiente cuadro, mientras que a partir de la quinta semana, se considera la “Fase propuesta”, en la que se comenzarán a obtener los resultados estimados de incremento de productividad, porque ya se cuenta con los lineamientos, conocimientos, recipientes, indumentaria, formatos, mantenimientos, y demás recursos incluidos en la fase de mejora.

**Tabla 33.** 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
Elaboración del manual de proceso de producción	X	X	X			
Socialización del manual y los procedimientos				X		
Registro y control de producción					X	X
Capacitación al personal operativo		X		X		
Renovación de indumentaria para trabajadores			X			
Renovación de recipientes para dosificación y moldes para adoquines			X			
Plan de mantenimiento para maquinaria		X			X	X

Es decir que, en un mes calendario, se deberán realizar las gestiones y coordinaciones para que se tengan listos los recursos del plan de mejora, y con ello se pueda implementar la situación propuesta. Para que esta situación suceda de manera exitosa, se sugiere considerar al menos los siguientes.

- Se debe tener el apoyo total de los propietarios, una vez que hayan visto la propuesta completa y los beneficios esperados.
- El Jefe de producción debe ser nombrado como responsable de llevar a cabo esta propuesta, y fungir como líder de proyecto, para efectuar las acciones que se le atribuyen, pero también dar cuenta al Administrador de los avances diarios, semanales, mensuales y anuales.
- También es necesario conseguir el compromiso voluntario de los trabajadores que participan de manera directa en la fabricación de adoquines, pero también de quienes tienen relación con dicho proceso, como el operario de montacargas y el encargado de bodegas.
- A pesar de que se han puesto responsables en cada acción de mejora, como se observa en la Tabla 26, es necesario que el Jefe de producción efectúe un seguimiento diario de las gestiones y coordinaciones, durante el primer mes que se requiere como previo al inicio de la “Fase propuesta”.

- En el caso de que, algún valor de las acciones de mejora, sea diferente de lo estimado en esta propuesta, tendrá que ser ajustado el total de la inversión requerida, para que haya una correcta evaluación del retorno de la inversión, que se aplicará en el punto 4.7. de este documento.
- En caso de que, por motivos externos o de presupuesto, no se puedan realizar las acciones de mejora en un mes calendario, se deberá iniciar la “Fase propuesta” una vez que esté todo completo, para que se tengan al menos los resultados estimados en este documento. Si solamente se aplican una o dos acciones de mejora, no se tendrá el resultado que se ha presentado en esta propuesta, debido a que, el planteamiento partió de varias que alternativas que deben ser aplicadas de forma conjunta para generar el incremento de productividad que requiere la empresa CR Solution.

#### **4.3.5.2 Monitoreo del proceso**

Esta es una actividad clave que debe ser considerada como prioridad para la empresa CR Solution, en el caso de que implemente la metodología DMAIC en su proceso de producción, porque será la única manera de verificar que se lleven a cabo cada una de las acciones, y en el día a día, se efectúen las instrucciones, se utilicen los implementos y se obtengan los resultados esperados.

Con este fin se deberían utilizar los formatos de registro que hayan sido diseñados como parte del manual de procesos de fabricación de adoquines, en los que al menos se controle el tiempo que toma cada etapa, la cantidad de desperfectos o novedades, pesos, desperdicios, situaciones externas, como cambios climáticos, daños de máquina, ausencia de un trabajador, problemas con recursos, etc., lo que ayudará a que el encargado de las mejoras conozca con claridad cómo se desempeña cada lote, y de razón a la productividad de la empresa a los propietarios.

En este contexto, la empresa debe otorgar al Jefe de producción la autoridad necesaria con el fin de que él sea quien vele por un adecuado registro de datos de cada lote, y se apliquen los cálculos necesarios que den cuenta de la mejora en cantidad y calidad. Pero este planteamiento no significa que haya sobrecarga para el encargado de la producción, sino que, se apoye en el personal administrativo y en algún operativo que no participe directamente en la producción, para que se registren los datos del proceso, para tener evidencia de las mejoras de eficacia y eficiencia propuestas.

La medición debería ser de al menos 10 lotes en el día, los que debe escoger en forma aleatoria el Jefe de producción, y evitar que se enteren los trabajadores del proceso productivo, para que no vayan a cambiar el ritmo de trabajo mientras son observados, lo cual mostraría un resultado sesgado de la realidad, que no cuadraría entre el valor total neto de producción con la factura de cobro de los clientes, situación que equivocaría el resultado que busca la propuesta que se plantea en este documento.

Si el Jefe de producción decide, otorgar algún reconocimiento monetario o no, a los trabajadores con el fin de que se alcancen las metas que tienen en cada jornada, esta estrategia debería ser considerada por los propietarios y descontada del excedente que se espera recibir, que será validado en el punto 4.7. de esta propuesta.

Aparte de esto, el Administrador o Gerente de la empresa, tiene que aportar en el control de la calidad, porque esta gestión es de vital importancia para mantener el nivel de eficacia en el proceso productivo.

#### **4.3.5.3 Acciones de corrección**

En el punto de 4.6.4.8. de “Evaluación de mejoras”, se han colocado las métricas básicas de la situación propuesta para la producción de la empresa, las que implican un tiempo promedio para cada lote de 10 minutos y 14 segundos. Así también, la cantidad de lotes por jornada debería ser de 63, mientras que la producción se mantiene en 60 adoquines por lote, pero, la cantidad de unidades con defectos debe ser como máximo de 3 por lote.

El monitoreo cumple una función invaluable respecto de la propuesta, porque garantizará que se mantenga un nivel de eficacia y eficiencia que genere excedentes para la empresa, comparado con la situación actual. Si se observaran desvíos de la producción en un lote o una jornada diaria, deberán ser considerados por el Jefe de producción para que se compense en otro lote u otro día de la misma semana. En cambio, si se trata de un desvío que es evidente en varios lotes o varios días, el tema debe ser reportado de inmediato al Administrador y/o propietarios, dependiente del nivel de impacto que tenga.

Como instancia de toma de decisiones, debe realizarse una reunión entre propietarios, Administrador y Jefe de producción, en la que se presente la situación de resultados diferentes a los encontrados y se analicen las causas o inconvenientes que generan el

problema. De ser necesario, se aplicarán herramientas como lluvia de ideas, diagrama causa y efecto, matriz AMFE, etc. para encontrar las posibles causas, y entonces aplicar acciones concretas que mitiguen los impactos negativos de la situación detectada. Es decir que, de alguna manera, las acciones correctivas deben generar una aplicación del DMAIC, sobre el problema que se identifique en un futuro, el cual podría estar o no relacionado con alguna acción de mejora incluida en esta propuesta.

#### 4.4 Análisis económico

El análisis económico de la propuesta se puede evidenciar en la Tabla 34, en la que se han expuesto los valores anuales de cantidad de adoquines producidos sin defectos y un ingreso con un precio unitario de referencia.

**Tabla 34.** Estimación de ingresos

Rubro	Actual		Propuesta	
	Cantidad	Valores	Cantidad	Valores
Unidades al año	732.960		861.840	
Precio unitario		USD 0.36		USD 0.36
Ingresos por año		\$ 263,865.60		\$ 310,262.40
<b>Excedente anual</b>			<b>17,58 %</b>	<b>\$ 46,396.80</b>

Suponiendo que el precio unitario de cada adoquín sea de 36 centavos de dólar, el ingreso que se espera para un año que considera la propuesta, superaría en 17,58 % al ingreso en las condiciones actuales, lo que en dinero podría ser un aproximado de 46 mil dólares, que equivale a más de 3 mil ochocientos cada mes.

Aparte de esta mejora económica que tendría la empresa, por la aplicación de la metodología DMAIC en su proceso de producción, se efectuó un análisis financiero del excedente en relación de la inversión que se requiere para aplicar las acciones de mejora descritas, como se observa en la Tabla 35.

**Tabla 35.** Evaluación de la inversión de mejora

<b>Rubro</b>	<b>Valores</b>	<b>Valor actualizado</b>
Inversión	\$ -6,920.00	\$ -6,920.00
Excedente Año 1	\$ 46,396.80	\$ 42,178.91
Tasa descuento	10 %	
VAN		\$ 35,258.91
<b>TIR</b>	<b>570 %</b>	

La inversión alcanza cerca de 7 mil dólares, como se detalló en la Tabla 29, si se considera únicamente el excedente de ingresos de la Tabla 34, se puede entonces aplicar el concepto del Valor Actual Neto (VAN), para el que se utilizó una tasa de descuento del 10 %, la cual permitió actualizar el excedente, valor que el compararlo con el de la inversión, dio como resultado más de 35 mil dólares. Este resultado aprueba la inversión requerida, porque generaría en un año un valor 5 veces mayor al que se necesita invertir para aplicar la propuesta.

Si se aplica el concepto de la Tasa Interna de Retorno (TIR), se obtiene 570 %, que sería, en un año, el porcentaje de ganancia obtenida sobre la inversión, lo que también muestra la factibilidad de aplicar la propuesta.

Si se considera que el valor del excedente actualizado es alrededor de 42 mil dólares, el mensual sería de 3.5 mil dólares, lo que muestra que, se requerirían casi dos meses para que se recupere el capital que se invierte en las acciones de mejora. Esto indica que el Período de Recuperación de la Inversión (PRI), es de apenas 2 meses, bajo las estimaciones económicas y financieras presentadas en este punto.

#### **4.5 Comprobación de la hipótesis**

La hipótesis que fue planteada al inicio de esta investigación, sostenía que “La aplicación de la metodología DMAIC 6 SIGMA mejora la productividad en los procesos de fabricación de adoquines en la empresa CR Solution en Quito, Distrito Metropolitano.”, para comprobar ello, se presenta un resumen del comparativo entre la situación actual y propuesta, en la Tabla 36.

**Tabla 36.** Comparativo de resultados

<b>Productividad</b>	<b>Situación actual</b>	<b>Situación propuesta</b>	<b>Variación</b>	<b>% variación</b>
Tiempo promedio por lote	10:46	10:14	-00:32	-5.00 %
Cantidad de lotes por jornada	60	63.2	3.2	5.26 %
Unidades con defectos por lote	9,1	3	-6,1	-67.03 %
Unidades efectivas por lote	50,9	57	6,1	11.98 %
Unidades efectivas por año	732.960	861.840	128.880	17.58 %
Ingresos por lote	USD 18.32	USD 20.52	USD 2.20	11.98 %
<b>Ingresos por año</b>	<b>USD 263,865.60</b>	<b>USD 310,262.40</b>	<b>USD 46,396.80</b>	<b>17.58 %</b>

Como evidencia de la mejora de la productividad del proceso productivo, se ha comparado el tiempo promedio por cada lote, que disminuiría en 5 % (32 segundos), lo que a su vez, permitiría producir 3 lotes adicionales en cada jornada (+5,3 %). Además, la disminución de unidades por lote bajaría de 9,1 a 3, lo que representa 67 % menos de errores en producción. Esto incrementa la cantidad de unidades efectivas para la comercialización de 51 a 57 por cada lote (+12 %). Al considerar menos unidades dañadas y más lotes en cada jornada, se obtiene una producción mayor en 17,6 %, que genera un excedente de más de 46 mil dólares anuales.

Con estos datos se comprueba la hipótesis planteada, porque la aplicación de la metodología DMAIC, muestra que habría al menos una mejora del 17,6 % en los ingresos, sin más que haber efectuado una inversión de casi 7 mil dólares.

#### **4.6 Conclusiones del capítulo**

En este capítulo se presentó la propuesta de implementación de la metodología DMAIC al proceso productivo de la empresa CR Solution. Para ello, se partió de la

problemática identificada en el capítulo precedente de resultados. Luego, se describieron la justificación y esquema.

El desarrollo de la propuesta consideró cada una de las 5 etapas de la metodología DMAIC, en las que se determinó el problema a tratar, se realizó la medición, luego el análisis de las posibles causas del problema identificado. En respuesta a las causas ubicadas, se plantearon acciones de mejora, las que requieren aproximadamente 7 mil dólares para su ejecución. La etapa final presentó un cronograma de aplicación de las acciones de mejora de un mes, así como recomendaciones para la implementación exitosa, además de lineamientos para el correcto monitoreo y reacción en caso de que se generen inconvenientes en el proceso, que no permitan llegar a los resultados esperados.

Finalmente, se evaluó económica y financieramente el beneficio que tendría la inversión en las acciones de mejora para la empresa, y se comprobó la hipótesis planteada.

## CONCLUSIONES

- Mediante el levantamiento de información teórica, se pudo conocer que, en el ámbito investigativo y académico, existen diversos hallazgos acerca de la aplicación de metodologías de calidad enfocadas a la industria de la construcción, sin embargo, no se encontraron investigaciones direccionados a la aplicación de DMAIC Seis sigma en la elaboración de adoquines. Esto permite concluir que existe un vacío en la producción de conocimiento respecto a estudios dirigidos a temas de calidad en la producción de adoquines, menos aún, con la aplicación de un método como el Seis sigma.
  
- La empresa objeto de estudio tuvo un crecimiento importante en últimos años, situación que es positiva por la generación de ingresos y plazas de empleo, pero que no consideró la parte operativa de una manera técnica, sino que se acopló a la necesidad creciente de producción. Esto conllevó a que los controles de la calidad sean principalmente visuales, y que se tenga un número establecido de lotes por cada jornada, pero no se haya vigilado el tiempo que cada uno toma. Además, la entidad no cuenta con un documento del proceso ni lineamientos escritos que permitan al personal comprender ciertos detalles de cada etapa del proceso.
  
- Con la ayuda de la entrevista, del registro de observación y el registro de datos del proceso se pudo levantar la información del proceso de producción de adoquines, que tiene 6 etapas claramente diferenciables, el que se efectúa en base a la experiencia y conocimientos de quienes participan en la fabricación, con la guía del jefe de producción. En las 10 observaciones realizadas a diferentes lotes de producción, se comprobó que existe un 15 % de unidades que salen del proceso con defectos, algunos aceptables y otro no. También se comprobó que el tiempo promedio de cada lote de producción toma 7,7 % más de lo determinado para dicho proceso.
  
- Partiendo de las necesidades identificadas en el proceso de producción, se aplicó la metodología DMAIC siguiendo sus 5 fases que proponen realizar una

mejora, partiendo de un problema que se define en su etapa inicial, luego es medido, analizado, se proponen mejoras y finalmente se efectúan controles para conservar los resultados deseados. Como parte de la fase de Mejora de la propuesta, se calcularon los resultados esperados, los que mostraron un excedente del 17,6 %, respecto de la situación actual.

- Mediante la aplicación de Seis sigma se reduciría la cantidad de adoquines defectuosos, por lo que se tendría una producción 17,58 % veces más elevada que la que se tiene actualmente. Esto representa un total de 861 840 adoquines anuales en comparación a 732 960 adoquines, por lo que se tendría una mejora en unidades de 128 880 adoquines.
  
- La reducción en la pérdida de adoquines defectuosos, supone un ingreso adicional de 46 396,80 USD. Al considerar la inversión necesaria para implementar las mejoras, de 6 920,00 USD, y con una tasa de descuento del 10 %, se tiene un Valor actual neto – VAN de 35 258,91 USD y una Tasa interna de retorno TIR de 570 %.

## RECOMENDACIONES

- Impulsar la producción investigativa en el ámbito de la construcción mediante estudios dirigidos a la evaluación de la calidad, específicamente en aspectos como la variación en materias primas usadas, e incluso, la falta de tecnificación en la producción como elemento que influye en la capacidad de una organización para alcanzar un Seis sigma.
  
- Una de las consideraciones de mayor importancia para la empresa CR Solution, es que mantenga la preocupación por la calidad del producto que entrega a sus clientes, lo que, a más de permitirle continuar calificada en el portal de compras públicas, generará nuevos clientes que incrementen las ganancias de sus propietarios, plazas de empleo y tributos para el estado.
  
- El proceso productivo representa la actividad operativa a partir de la que se generan los ingresos en la empresa. Por ello, debe ser considerado como prioridad y requiere acciones que apunten la calidad y cantidad de los adoquines. En ese sentido, se recomienda que el personal encargado de este proceso, así como quienes participan de forma directa, tengan la capacitación e indumentaria que les permita realizar sus actividades de manera óptima.
  
- Se recomienda a los propietarios de la empresa analizada, que consideren la aplicación de la metodología DMAIC, con la finalidad de contar con una herramienta que les permita destacar en un mercado tan competitivo, y estar en constante mejora para mantener un estándar de calidad ante sus clientes.

## REFERENCIAS

- [1] C. Carroll, SIX SIGMA for powerful improvement, CRC Press, 2013.
- [2] A. Martínez y J. Cegarra, Gestión por procesos de negocio: Organización horizontal, Madrid: ECOBOOK, 2014.
- [3] J. A. Pérez, Gestión por procesos 5a edición, Madrid: ESIC, 2012.
- [4] K. Bikram, WRAP THE SCRAP WITH DMAIC: Strategic Deployment of Six Sigma, Anchor Academic Publishing, 2015.
- [5] T. Quick, Splitting the DMAIC: Unleashing the Power of Continuous Improvement, Quality Press, 2019.
- [6] M. Fabregat, «Diseño de una planta industrial para fabricar adoquines mediante activación alcalina,» España, 2019.
- [7] N. Pabón, «Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de adoquines, ubicada en el barrio Santa Lucía del Retorno, cantón Ibarra, provincia de Imbabura,» Quito, Ecuador, 2011.
- [8] M. Cabezas, «Elaboración de un Manual de procesos constructivos del adoquinado,» Quito, Ecuador, 2014.
- [9] M. Colcha y D. López, «Estudio de factibilidad para crear una empresa productora de adoquines aprovechando los recursos de la parroquia Sevilla del cantón Alausí,» Riobamba, Ecuador, 2018.
- [10] J. Ávila, «Diseño de un plan de negocios para mejorar la productividad de la Fábrica de adoquines “Roca Eterna”, Riobamba 2017,» Ecuador, 2018.
- [11] R. Puma, «Propuesta de Aplicación de Teorías de las Restricciones en el Proceso Productivo de Adoquines para Incremento de la Capacidad de Producción en la Empresa PRECOFERT S.R.L.,» Colombia, 2019.

- [12] E. Cerdas, «Diseño de una propuesta de proceso para la correcta ejecución del control de calidad en los agregados, bloques, adoquines y complementos fabricados en los 11 centros de producción de Grupo Pedregal,» Costa Rica, 2017.
- [13] E. Muro, «Plan de gestión para el mantenimiento preventivo para incrementar la productividad de la línea de producción de la empresa Pavimentos y Concretos S.A.C., Mochumi, 2019,» Perú, 2020.
- [14] A. Aka y F. Emuze, «A nigerian case based study of non-value adding activities and their reduction in concrete pavers production,» de *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC28)*, Nigeria, 2020.
- [15] A. Montoya, «Optimización en la producción de la planta de elementos prefabricados de concreto AB proveedores, implementada para el caso específico de cajas de concreto del estándar 30x40x70 cm con grado de resistencia 175 kg/cm<sup>2</sup>,» Perú, 2019.
- [16] F. Chugñay, «Estudio para la aplicación de métodos y tiempos, en la unidad productora de adoquines del cantón Chambo y su incidencia en la productividad,» RIobamba, Ecuador, 2016.
- [17] P. Céspedes, «Estudio del trabajo en el proceso de producción de turrónes para incrementar la productividad de mano de obra en la empresa Panivilla S.A.C. en el año 2018,» Perú, 2019.
- [18] A. Chang, «Propuesta de mejora del proceso productivo para incrementar la productividad en una empresa dedicada a la fabricación de sandalias de baño,» Perú, 2016.
- [19] A. Rahman, S. Chowdhury y S. Kumar, «Application of six sigma using define measure analyze improve control (DMAIC) methodology in garment sector,» *Independent Journal of Management & Production (IJM&P)*, vol. 9, n° 3, pp. 810-826, 2018.

- [20] B. Pons, V. Gisbert y E. Pérez, «Metodología Six Sigma. Comparación entre ciclo PDCA y DMAIC,» de *Cuadernos de Investigación aplicada*, Alicante, 3Ciencias Editorial, 2018, pp. 27-34.
- [21] Á. Oltra y V. Soler, «Qué es seis sigma, barreras y claves de funcionamiento en las pymes,» *3C Tecnología*, vol. 5, nº 1, pp. 13-24, 2016.
- [22] L. Pérez, J. Pérez, L. García y P. Gómez, «Aplicación de metodología DMAIC en la resolución de problemas de calidad,» *Mundo Fesc*, vol. 10, nº 19, pp. 55-66, 2020.
- [23] M. Smętkowska y B. Mrugalska, «Using Six Sigma DMAIC to Improve the Quality of the Production Process: A Case Study,» *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 238, pp. 590-596, 2018.
- [24] *Ley del Sistema Ecuatoriano de Calidad*, 2010.
- [25] *Plan Nacional de Calidad*, Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, 2022.
- [26] R. Hernandez-Sampieri and C. Mendoza, *Metodología de la Investigación*, México: McGraw Hill, 2018.
- [27] L. Pereyra, *Metodología de la investigación*, Klik Soluciones Educativas, 2020.
- [28] E. Rodríguez, *Metodología de la Investigación*, Tabasco: Universidad Autónoma de Tabasco, 2005.
- [29] C. Bernal, *Metodología de la Investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales*, Bogotá: Pearson Educación, 2010.
- [30] J. Santos, «¿Por qué debes documentar los procesos de tu negocio?,» 20 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://www.administracionvirtual.es/documentar-procesos/>.

## ANEXOS

### Anexo 1. Guía de entrevista

#### Guía de entrevista

**Objetivo.** Identificar las etapas, características y demás aspectos relativos al proceso de producción de adoquines de hormigón y las particularidades y problemas que pueden afectar a la calidad del mismo.

#### Datos del entrevistado

Edad:

Género:

Cargo en la empresa:

Función/funciones en el proceso:

1. ¿Puede describir el proceso de producción de adoquines en su totalidad?  
¿Cuáles son sus etapas y qué actividades se realiza en cada una?
2. ¿Qué tipos y cantidades de materias primas utilizan en cada lote, y cuántas unidades esperan obtener con esa cantidad?
3. ¿Cuántas personas laboran en el proceso de producción, en qué etapas y que actividades realizan?
4. ¿Cuántos lotes se producen a la semana, y de qué factores depende la cantidad de lotes producidos?
5. ¿Qué problemas puede describir usted, que tiene la ejecución del proceso y qué defectos tienen los productos terminados?
6. ¿Qué factores son los más relevantes en cuanto a la calidad de los productos terminados? ¿Peso, densidad, tamaño?, ¿Existen variaciones importantes en estos aspectos?
7. ¿Qué tipos de controles de calidad se llevan a cabo durante el proceso de producción?

**Anexo 2.** Registro de observación del proceso

Formato utilizado para levantar la información del proceso de fabricación de los adoquines

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

**Anexo 3.** Registro de datos del proceso

Formato utilizado para el levantamiento de observaciones al proceso de fabricación de los adoquines

# Lote		Peso total materia prima (Kg):			Peso total lote (Kg):	
	ETAPA	Tiempo (min)	Cantidad	Defectos	Tipo defecto	Novedades
Obse rvaci ones						

## Anexo 4. Evidencia fotográfica de cada etapa del proceso de producción

### 1) CLASIFICACION DE MATERIA PRIMA



### 2) DOSIFICACION DE LA MEZCLA



### 3) PROCESO DE MEZCLADO



### 4) PROCESO DE COMPACTADO Y VIBRADO



5) RETIRO DE ADOQUINES



6) FRAGUADO Y CURADO



## Anexo 5. Tablas de defectos encontradas en la observación

A continuación se presenta la tabla de defectos encontrados en las observaciones realizadas:

Revisión	DETALLE DE DEFECTOS DETECTADOS POR CADA ETAPA DEL PROC.											Totales
	Clasificar la materia prima	Dosificar la mezcla		Mezclar la materia prima		Compactar y vibrar la mezcla			Retirar los adoquines	Fraguar y curar		
	Desperdicio MP	Dosificación	Desperdicio materiales	Mala manejabilidad	Coloración	Resistencia	Forma	Tamaño	Rotura	Porosidad	Absorción	
Lote 1						1	1	2	3	1	1	9
Lote 6		1				3	2	2	1	2		11
Lote 10		1					1	1	2	2	2	9
Lote 12					2		2	1	1		1	7
Lote 20				1		3	1	3	1	1		10
Lote 25	1				1	3	3	3	2	1	1	12
Lote 33						1	2	2	3	1		9
Lote 39				1		1	1	1	2	1	1	8
Lote 44		1	1				1	2	1		2	8
Lote 48						1	2		2	2	1	8
<b>Total</b>	1	3	1	2	3	10	16	17	18	11	9	<b>91</b>

Los datos se consolidaron por etapas del proceso, como se observa a continuación:

Revisión	DEFECTOS DETECTADOS POR CADA ETAPA DEL PROCESO							DEFECTOS TOTALES
	Clasificar la materia prima	Dosificar la mezcla	Mezclar la materia prima	Compactar y vibrar la mezcla	Retirar los adoquines	Fraguar y curar		
Lote 1	0	0	0	4	3	2	9	
Lote 6	0	1	0	7	1	2	11	
Lote 10	0	1	0	2	2	4	9	
Lote 12	0	0	2	3	1	1	7	
Lote 20	0	0	1	7	1	1	10	
Lote 25	1	0	1	6	2	2	12	
Lote 33	0	0	0	5	3	1	9	
Lote 39	0	0	1	3	2	2	8	
Lote 44	0	2	0	3	1	2	8	
Lote 48	0	0	0	3	2	3	8	
<b>Total</b>	1	4	5	43	18	20	<b>91</b>	

## Anexo 6. Tablas de excedentes de tiempo encontradas en la observación

La siguiente tabla muestra los tiempos de cada etapa en cada lote observado, los tiempos totales de cada lote, así como promedios, máximos y mínimos de cada etapa:

Revisión	Clasificar la materia prima	Dosificar la mezcla	Mezclar la materia prima	Compactar y vibrar la mezcla	Retirar los adoquines	Fraguar y curar	TOTALES	
Tiempo esperado	01:00	00:30	05:00	02:00	01:00	00:30	10:00	
Lote 1	01:04	00:29	05:42	02:42	01:00	00:41	11:37	16.3%
Lote 6	01:08	00:32	05:54	01:58	01:21	00:29	11:22	13.7%
Lote 10	00:59	00:35	05:18	02:30	01:08	00:28	10:59	9.8%
Lote 12	00:54	00:28	05:03	01:53	01:11	00:35	10:04	0.7%
Lote 20	00:56	00:38	04:54	02:07	01:15	00:34	10:24	4.1%
Lote 25	01:01	00:35	04:42	02:22	00:59	00:44	10:22	3.7%
Lote 33	01:11	00:29	06:15	02:01	01:15	00:30	11:42	17.0%
Lote 39	01:15	00:34	05:00	02:22	01:21	00:38	11:09	11.6%
Lote 44	01:21	00:27	04:42	02:00	00:54	00:30	09:54	-1.0%
Lote 48	01:27	00:41	04:30	02:01	01:01	00:30	10:10	1.6%
<b>Promedio</b>	<b>01:08</b>	<b>00:33</b>	<b>05:12</b>	<b>02:12</b>	<b>01:08</b>	<b>00:34</b>	<b>10:46</b>	<b>7.73%</b>
Máximo	01:27	00:41	06:15	02:42	01:21	00:44	11:42	
Mínimo	00:54	00:27	04:30	01:53	00:54	00:28	09:54	

De la tabla precedente se estimaron diferencias en rojo que son las que exceden el tiempo estándar, y las que aparecen en negro que muestran disminuciones respecto de esa medida estimada:

Revisión	Clasificar la materia prima	Dosificar la mezcla	Mezclar la materia prima	Compactar y vibrar la mezcla	Retirar los adoquines	Fraguar y curar
Lote 1	00:04	00:01	00:42	00:42	00:00	00:11
Lote 6	00:08	00:02	00:54	00:02	00:21	00:01
Lote 10	00:01	00:05	00:18	00:30	00:08	00:02
Lote 12	00:06	00:02	00:03	00:07	00:11	00:05
Lote 20	00:04	00:08	00:06	00:07	00:15	00:04
Lote 25	00:01	00:05	00:18	00:22	00:01	00:13
Lote 33	00:11	00:01	01:15	00:01	00:15	00:00
Lote 39	00:15	00:04	00:00	00:22	00:21	00:08
Lote 44	00:21	00:03	00:18	00:00	00:06	00:00
Lote 48	00:27	00:11	00:30	00:01	00:01	00:00

Las diferencias, de manera porcentual, se presentan en la siguiente tabla:

Revisión	Clasificar la materia prima	Dosificar la mezcla	Mezclar la materia prima	Compactar y vibrar la mezcla	Retirar los adoquines	Fraguar y curar
Lote 1	6%	-2%	14%	35%	0%	35%
Lote 6	14%	6%	18%	-2%	35%	-2%
Lote 10	-2%	18%	6%	25%	14%	-6%
Lote 12	-10%	-6%	1%	-6%	18%	18%
Lote 20	-6%	25%	-2%	6%	25%	14%
Lote 25	1%	18%	-6%	18%	-2%	45%
Lote 33	18%	-2%	25%	1%	25%	1%
Lote 39	25%	14%	0%	18%	35%	25%
Lote 44	35%	-10%	-6%	0%	-10%	0%
Lote 48	45%	35%	-10%	1%	1%	1%