

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO LOGÍSTICO DE
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN
INMACO MEDIANTE METODOLOGÍA DMAIC
PARA EL INCREMENTO DE LA
RENTABILIDAD
PRIMER SEMESTRE 2025**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR
POR EL BACHILLERATO EN INGENIERÍA
INDUSTRIAL.**

**ESTUDIANTE:
ABG. BRANDON QUESADA GONZÁLEZ**

**TUTOR:
ING. EDWIN VARGAS LEÓN**

PUNTARENAS, 2026

ACTA DE APROBACIÓN

Señores

Escuela de Ingeniería Industrial

Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

Me permito saludarle y a la vez comunicarle que el estudiante **Brandon Quesada González, cédula 604580412**, ha concluido exitosamente el proyecto de graduación para optar por el nivel de bachillerato en ingeniería industrial de la Universidad Hispanoamericana, en modalidad bimodal denominado: Optimización del proceso logístico de materiales de construcción en INMACO mediante metodología DMAIC para el incremento de la rentabilidad

Primer semestre 2025, a continuación, se presenta el desglose de la nota obtenida:

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	N/A
1. Regularidad en la asistencia al trabajo y cumplimiento con el horario establecido										✓	
2. Cumplimiento de tareas que el desarrollo de su trabajo demanda										✓	
3. Cumplimiento de los reglamentos y normas existentes en la organización										✓	
4. Capacidad de proponer y/o aprender por sí mismo acciones tendientes a la mejora de su trabajo										✓	
5. Capacidad para identificar y analizar los problemas que se presentan										✓	
6. Capacidad para sacar conclusiones y recomendaciones										✓	
7. Capacidad para aplicar los conocimientos teóricos al trabajo práctico desarrollado										✓	
8. Capacidad para expresar sus ideas										✓	
9. Presentación personal adecuada a las exigencias de la organización										✓	
10. Capacidad para establecer y mantener relaciones adecuadas con otras personas										✓	
11. Capacidad para comunicar sus ideas, sugerencias y conocimientos de la organización										✓	
12. Grado de contribución del trabajo a la mejora de las actividades de la organización										✓	
13. Grado en que se cumplieron los objetivos planteados al inicio del desarrollo del proyecto										✓	
Sumatoria de puntos: $\frac{1300}{1300} = 1$	Nota: $\frac{\text{sumatoria de puntos}}{1300}$										
Comentarios adicionales:	Excelente Estudiante, Carismática, Atoya y Dúctil										

Atentamente, Alvaro Villalta Rojas 01-3-26

Alvaro Eduardo Villalta Rojas
 Cédula: 111820583
 Puesto: Dueño
 Institución: INMACO SRL
 Contactos: 89482480

CARTA DE TUTOR

CARTA DEL TUTOR

Heredia, 28 de octubre de 2025

Destinatario
Escuela de Ingeniería Industrial
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Brandon Quesada González, cédula de identidad número 604580412, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado MEJORAR LA GESTIÓN OPERATIVA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC EN LA REDUCCIÓN DE COSTOS, DISMINUCIÓN DE LOS DESPERDICIOS Y MEJORAR LA EFICIENCIA EN LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE INMACO SRL, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato en Ingeniería Industrial.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

a)	ORIGINAL DEL TEMA	10%	9
b)	CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES	20%	18
c)	COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	30%	26
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	18
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEORICO	20%	19
	TOTAL		90

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Edwin
Vargas León

Firmado digitalmente
 por Edwin Vargas León
 Fecha: 2025.10.28
 12:11:43 -06'00'

Nombre: Ing. Edwin Vargas León
Cédula Identidad N. 401670771...
Carné Colegio Profesional N IPI-18468....

CARTA DEL LECTOR

San José, 29 de abril de 2026.

**Señores
Registro
Universidad Hispanoamericana**

Estimados señores:

Hago constar en mi condición de lector, que he revisado el trabajo del estudiante Brandon Alexis Quesada Gonzalez, cédula: 6-0458-0412 titulado: "OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO LOGÍSTICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN INMACO MEDIANTE METODOLOGÍA DMAIC PARA EL INCREMENTO DE LA RENTABILIDAD" para optar por el grado de Bachillerato en la carrera de Ingeniería Industrial.

Manifiesto, después de la revisión, que dicho trabajo reúne los requisitos exigidos por la Universidad y, por lo tanto, autorizo al autor para que continúe con el proceso de aprobación del proyecto.

Sin más por el momento,

Atentamente:

HECTOR JESUS RAMIREZ MORA (FIRMA) Digitally signed by HECTOR JESUS RAMIREZ MORA (FIRMA)
Date: 2026.04.29 11:53:00 -06'00'
Lector: Héctor Ramírez Mora
Cédula: 1-1296-0047
Carne: IPI-24135

Autorización Cenit

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, 15 de Mayo del 2026

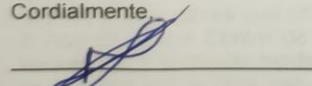
Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito Brandon Quesada González con número de identificación 604580412 autor del trabajo de graduación titulado OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO LOGÍSTICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN INMACO MEDIANTE METODOLOGÍA DMAIC PARA EL INCREMENTO DE LA RENTABILIDAD PRIMER SEMESTRE 2025 presentado y aprobado en el año 2026 como requisito para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Industrial; SI autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,



Firma
604580412

**ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y
PERMITIR LA CONSULTA Y USO**

Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.
- b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana
- c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

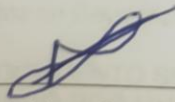
SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.





DECLARACIÓN JURADA

Yo Brandon Quesada González, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 604580412 egresado de la carrera de ingeniería industrial de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Industrial, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO LOGÍSTICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN INMACO MEDIANTE METODOLOGÍA DMAIC PARA EL INCREMENTO DE LA RENTABILIDAD PRIMER SEMESTRE 2025 es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. en fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 15 días del mes de Mayo del año dos mil veintiséis.



Firma del estudiante
Cédula 604580412

EPÍGRAFES

“La calidad nunca es un accidente; siempre es el resultado de un esfuerzo inteligente.”

John Ruskin

TABLA DE CONTENIDOS

ACTA DE APROBACIÓN	ii
.....	ii
CARTA DE TUTOR	iii
CARTA DEL LECTOR.....	iv
Autorización Cenit.....	v
EPÍGRAFES	ix
TABLA DE CONTENIDOS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
ACRÓNIMOS Y SIGLAS.....	xix
RESUMEN EJECUTIVO Y ARTÍCULO PUBLICABLE	xx
CAPÍTULO I:	17
PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	17
1.1 Descripción general del proyecto	18
1.2 Identificación de la organización en donde se realiza el proyecto	20
1.2.1 Descripción general de la organización	20
1.2.2 Antecedentes de la organización.....	24
1.3 Planteamiento del problema.....	25
1.3.1 Definición del problema	25
1.3.2 Justificación del proyecto	26
1.4 Objetivos del proyecto	27
1.4.1 Objetivo general.....	27
1.4.2 Objetivos específicos	27

1.5 Alcances y limitaciones	28
1.5.1 Alcances.....	28
1.5.2 Limitaciones.....	29
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	30
2.1 Marco conceptual general relativo a la carrera.....	31
2.1.1 Ingeniería Industrial y mejora de procesos	31
2.1.2 Gestión de operaciones y productividad	32
2.1.3 Calidad del producto y control de conformidad	32
2.1.4 Producción de prefabricados de concreto	33
2.1.5 Dosificación, mezcla y aditivos	33
2.1.6 Vibrado y consolidación del concreto	34
2.1.7 Curado, fraguado y autorización de desmolde.....	34
2.1.8 Logística interna de materiales y producto terminado.....	35
2.1.9 Trabajo estandarizado y documentación operativa.....	35
2.1.10 Indicadores de desempeño y costo de no calidad	35
2.2 Herramientas de calidad aplicadas.....	36
2.3 Normativa técnica y referencias de control para el concreto.....	38
2.4 Marco conceptual referente al impacto del proyecto.....	39
2.5 Antecedentes de proyectos o experiencias semejantes	40
CAPÍTULO III:.....	42
METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	42
3.1 Enfoque metodológico.....	43
3.2 Trazabilidad entre objetivos, fases DMAIC y evidencias	45
3.3 Fase Definir.....	45
3.4 Fase Medir	46

3.5 Fase Analizar	47
3.6 Fase Mejorar	48
3.7 Fase Controlar.....	48
3.8 Técnicas e instrumentos de recolección de información	49
3.9 Criterios de calidad de datos.....	50
3.10 Consideraciones éticas y de confidencialidad	51
CAPÍTULO IV:	52
ANÁLISIS DE CAUSAS RAÍZ.....	52
4.1 Descripción detallada de la situación actual	53
4.2 Línea base referencial de producción, defectos y costos	54
4.3 Análisis del proceso antes del Ishikawa	56
4.4 Lluvia de ideas y clasificación inicial de causas.....	57
4.5 Diagrama de Ishikawa bajo enfoque 6M	59
4.6 Análisis de los 5 porqués	60
4.7 Priorización mediante Pareto	62
4.8 FMEA simplificado del proceso	63
4.9 Diagnóstico 5S del área productiva	64
4.10 Mapa de calor de criticidad.....	66
4.11 Matriz causa-evidencia-efecto	67
4.12 Análisis económico del defecto	68
4.13 Validación final de causas raíz	68
4.14 Síntesis diagnóstica del Capítulo IV	69
CAPÍTULO V:.....	70
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN	70
5.1 Diseño general de la solución	71

5.2 Procedimiento estandarizado de vibrado	72
5.3 Procedimiento de dosificación y mezcla de aditivos	74
5.4 Control de curado, fraguado y desmolde	75
5.5 Procedimiento de transporte interno y almacenamiento	76
5.6 Mantenimiento preventivo de formaletas y equipo	77
5.7 Plan de capacitación y competencias	78
5.8 Plan de implementación	79
5.9 Matriz RACI de responsabilidades	80
5.10 Evaluación económica y herramienta de cálculo	81
5.11 Sistema de monitoreo y control	82
5.12 Gestión de riesgos de la implementación	84
5.13 Resultados esperados	84
CAPÍTULO VI:	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
6.1 Conclusiones	87
6.1.1 Conclusión general	87
6.1.2 Conclusiones según el cumplimiento de los objetivos	88
6.1.3 Conclusiones sobre la propuesta de mejora	90
6.1.4 Conclusiones sobre el impacto económico y operativo	91
6.1.5 Conclusiones sobre la implementación y sostenibilidad	92
6.2 Recomendaciones	93
6.2.1 Recomendaciones generales	93
6.2.2 Recomendaciones sobre el vibrado	94
6.2.3 Recomendaciones sobre dosificación y mezcla	94
6.2.4 Recomendaciones sobre curado y desmolde	95

6.2.5 Recomendaciones sobre transporte interno y almacenamiento	95
6.2.6 Recomendaciones sobre indicadores y control	96
6.2.7 Recomendaciones sobre análisis económico	96
6.2.8 Recomendaciones sobre capacitación y cultura de mejora.....	97
6.2.9 Recomendaciones sobre implementación gradual	97
6.2.10 Recomendación final	98
ANEXOS	102
Anexo 1. Excel automatizado DMAIC empresa INMACO SRL	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de contexto operativo del proyecto	19
Figura 2. Ubicación geográfica referencial de la planta de producción	21
Figura 3. Maquinaria utilizada para movilización interna de materiales.....	22
Figura 4. Postes de concreto en etapa de secado y almacenamiento	22
Figura 5. Aditivo utilizado en la mezcla de concreto	23
Figura 6. Árbol del problema de calidad y desperdicio.....	25
Figura 7. Ruta metodológica DMAIC aplicada al proyecto	37
Figura 8. SIPOC del proceso productivo de prefabricados	38
Figura 9. Flujo actual con puntos críticos de control.....	44
Figura 10. Reducción esperada del costo por defectos.....	56
Figura 11. Agrupación de ideas para análisis causal	58
Figura 12. Diagrama de Ishikawa 6M para defectos en prefabricados.....	59
Figura 13. Pareto de causas priorizadas del defecto	62
Figura 14. FMEA simplificado: prioridad de riesgo por causa	64
Figura 15. Diagnóstico 5S del área productiva.....	65
Figura 16. Mapa de calor de causas por criterio de criticidad	66
Figura 17. BPMN simplificado del procedimiento de vibrado.....	72
Figura 18. BPMN simplificado del procedimiento de dosificación	74
Figura 19. BPMN simplificado del procedimiento de curado y desmolde.....	76
Figura 20. BPMN simplificado del procedimiento de transporte interno.....	77
Figura 21. Cronograma resumido de implementación.....	79
Figura 22. Tablero de control propuesto para seguimiento semanal	82
Figura 23. Ciclo de sostenibilidad de la mejora.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización general de INMACO SRL	20
Tabla 2. Áreas y responsabilidades vinculadas con el proceso productivo	23
Tabla 3. Antecedentes operativos que originan la investigación.....	24
Tabla 4. Formulación técnica del problema.....	26
Tabla 5. Justificación del proyecto por dimensión de impacto.....	27
Tabla 6. Trazabilidad entre objetivos específicos y productos esperados	28
Tabla 7. Matriz de alcance, exclusiones y criterios de aceptación	29
Tabla 8. Relación entre conceptos teóricos y uso dentro del proyecto.....	36
Tabla 9. Herramientas aplicadas y propósito metodológico.....	37
Tabla 10. Referencias técnicas asociadas a variables críticas del proceso	39
Tabla 11. Impactos esperados del proyecto	40
Tabla 12. Síntesis de antecedentes utilizados como orientación estructural	41
Tabla 13. Diseño metodológico general de la investigación	44
Tabla 14. Relación entre objetivos, fases DMAIC y evidencias	45
Tabla 15. Estructura metodológica de la Fase Definir.....	46
Tabla 16. Estructura metodológica de la Fase Medir	46
Tabla 17. Estructura metodológica de la Fase Analizar	47
Tabla 18. Estructura metodológica de la Fase Mejorar	48
Tabla 19. Estructura metodológica de la Fase Controlar.....	49
Tabla 20. Instrumentos propuestos para levantar y controlar información	49
Tabla 21. Criterios para validar la calidad de los datos recolectados	50
Tabla 22. Descripción detallada de actividades del proceso actual.....	54
Tabla 23. Línea base referencial del índice de defectos	55
Tabla 24. Estimación económica referencial del costo de no calidad	55

Tabla 25. Riesgos por actividad antes del análisis Ishikawa	57
Tabla 26. Causas preliminares generadas mediante lluvia de ideas	58
Tabla 27. Clasificación 6M de causas potenciales	60
Tabla 28. Análisis de 5 porqués: vibrado inconsistente.....	60
Tabla 29. Análisis de 5 porqués: dosificación variable	61
Tabla 30. Análisis de 5 porqués: desmolde y transporte interno	61
Tabla 31. Datos utilizados para el Pareto de causas	62
Tabla 32. FMEA simplificado del proceso productivo.....	63
Tabla 33. Lectura del diagnóstico 5S.....	65
Tabla 34. Matriz causa-evidencia-efecto	67
Tabla 35. Explicación de fórmulas económicas referenciales	68
Tabla 36. Validación final de causas raíz y acciones requeridas.....	69
Tabla 37. Relación causa-solución de la propuesta	71
Tabla 38. Procedimiento operativo de vibrado.....	73
Tabla 39. Ficha de indicador: cumplimiento de vibrado	73
Tabla 40. Procedimiento resumido de dosificación.....	74
Tabla 41. Ficha de indicador: dosificación correcta	75
Tabla 42. Criterios de control para curado y desmolde	76
Tabla 43. Reglas operativas para transporte interno y almacenamiento.....	77
Tabla 44. Plan básico de mantenimiento preventivo	78
Tabla 45. Plan de capacitación propuesto.....	78
Tabla 46. Fases de implementación de la mejora	80
Tabla 47. Matriz RACI para implementación y sostenibilidad	80
Tabla 48. Estructura de herramienta de cálculo económico	81
Tabla 49. Escenarios económicos de reducción de defectos	82

Tabla 50. Indicadores propuestos para el control del proceso	83
Tabla 51. Matriz de riesgos de implementación	84
Tabla 52. Síntesis de beneficios esperados de la propuesta.....	85

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

ACI: American Concrete Institute.

ASTM: American Society for Testing and Materials, actualmente ASTM International.

BPMN: Business Process Model and Notation, notación utilizada para representar procesos de negocio.

DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

FMEA: Failure Mode and Effects Analysis, análisis modal de fallos y efectos.

KPI: Key Performance Indicator o indicador clave de desempeño.

NPR: Número de prioridad de riesgo utilizado dentro del FMEA.

PDCA: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar.

SIPOC: Proveedores, Entradas, Proceso, Salidas y Clientes.

SRL: Sociedad de Responsabilidad Limitada.

RESUMEN EJECUTIVO Y ARTÍCULO PUBLICABLE

El presente proyecto de graduación analiza el proceso logístico-productivo de materiales de construcción en INMACO SRL, empresa ubicada en Lagunillas de Garabito, Puntarenas, dedicada a la construcción general y a la fabricación de elementos prefabricados de concreto. El estudio se concentra en la línea de postes y alcantarillas, donde se identificó un nivel aproximado de productos defectuosos del 25 %, asociado principalmente a fallas de vibrado, variabilidad en la dosificación de aditivos, controles insuficientes de curado y desmolde, debilidades en el transporte interno y ausencia de registros sistemáticos para la toma de decisiones.

La investigación aplica la metodología DMAIC como marco de mejora continua. En la fase Definir se delimita el problema, sus efectos sobre la rentabilidad y los actores involucrados. En la fase Medir se establece una línea base de defectos, costos de no calidad y variables críticas. En la fase Analizar se desarrollan herramientas como SIPOC, diagrama de flujo, lluvia de ideas, Ishikawa, 5 porqués, Pareto, FMEA y diagnóstico 5S. En la fase Mejorar se proponen procedimientos estandarizados, plantillas de registro, fichas de indicadores, diagramas BPMN y un plan de implementación piloto. Finalmente, en la fase Controlar se estructura un sistema de seguimiento semanal mediante indicadores, auditorías internas y revisión económica por lote.

El diagnóstico permitió demostrar que el problema no debe atribuirse únicamente al personal operativo, sino a una combinación de método, medición, materiales, equipo, condiciones del área y logística interna. Por ello, la propuesta no se limita a una capacitación general, sino que incorpora procedimientos detallados de vibrado, dosificación, curado, desmolde, transporte y mantenimiento preventivo. Asimismo, se plantea una herramienta de cálculo para estimar el costo de no calidad, el ahorro esperado, el retorno sobre la inversión y la recuperación del monto destinado a la mejora. En conjunto, el proyecto aporta una ruta técnica para reducir el índice de defectos desde el 25 % hacia un rango meta de 5 % a 10 %, fortalecer la calidad del producto, mejorar la rentabilidad y consolidar una cultura de control basada en evidencia.

Palabras clave: DMAIC; prefabricados de concreto; defectos; vibrado; dosificación; rentabilidad; control de calidad.

CAPÍTULO I:
PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

Este capítulo presenta la contextualización inicial del proyecto, la identificación de la organización donde se desarrolla el estudio, la delimitación del problema, la justificación técnica y económica, los objetivos, los alcances y las limitaciones. La estructura responde a la necesidad de que el lector comprenda por qué el proceso de producción de prefabricados de concreto requiere una intervención formal y por qué la metodología DMAIC resulta pertinente para ordenar la mejora.

El planteamiento se construye desde una visión aplicada de la Ingeniería Industrial. Por ello, el problema no se analiza únicamente como una disminución de calidad del producto final, sino como una consecuencia de interacciones entre método de trabajo, materiales, equipo, medición, logística interna y control operativo. Esta lectura permite formular una propuesta que no dependa de acciones aisladas, sino de un sistema de mejora con evidencia, indicadores y seguimiento.

1.1 Descripción general del proyecto

El proyecto se orienta a optimizar el proceso logístico-productivo de materiales de construcción en INMACO SRL, con énfasis en la fabricación de postes y alcantarillas de concreto. La empresa cuenta con experiencia práctica en el sector constructivo; sin embargo, el crecimiento de la demanda y la necesidad de entregar productos consistentes hacen necesario fortalecer el control de la operación. En este contexto, la investigación propone una mejora bajo la metodología DMAIC, debido a que esta permite definir el problema, medir su comportamiento, analizar causas, mejorar el proceso y establecer controles para sostener los resultados.

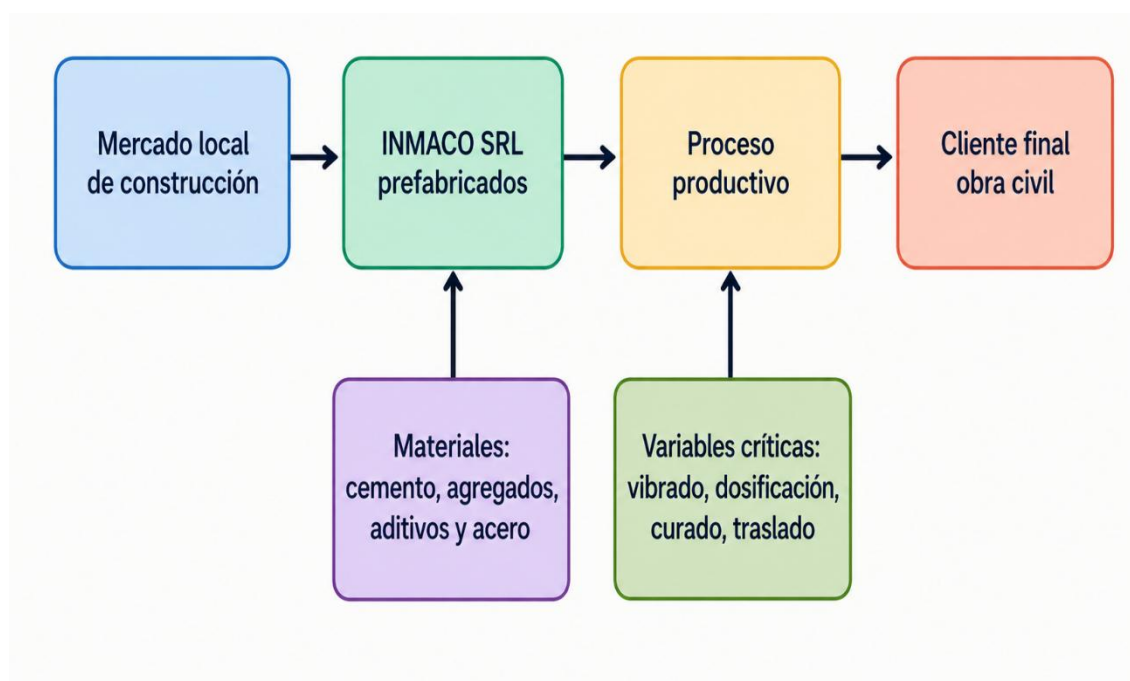
La problemática principal se relaciona con un índice aproximado de productos defectuosos del 25 %. Esta situación genera costos por desperdicio, pérdida de materiales, reprocesos, uso adicional de mano de obra y disminución de la rentabilidad. Además, un producto prefabricado defectuoso puede comprometer la percepción de calidad del cliente y afectar la capacidad de respuesta de la organización. Por esta razón, el proyecto no se limita a describir errores, sino que propone una ruta técnica para reducir la variabilidad del proceso.

El enfoque del proyecto integra herramientas clásicas y contemporáneas de la Ingeniería Industrial, entre ellas SIPOC, diagrama de flujo, lluvia de ideas, Ishikawa, 5 porqués, Pareto, FMEA, 5S, fichas de indicadores, procedimientos estandarizados y análisis

económico. Cada herramienta cumple una función específica: algunas permiten comprender el proceso, otras ordenan la evidencia causal y otras aseguran la continuidad de la mejora. En conjunto, estas herramientas permiten que la propuesta final sea trazable y defendible.

La mejora esperada busca reducir el índice de productos defectuosos desde un valor cercano al 25 % hacia un rango meta de 5 % a 10 %. El rango meta se define como una condición realista para una empresa que no necesariamente cuenta con equipos automatizados o laboratorios complejos, pero que sí puede mejorar mediante estandarización, registros, controles visuales, capacitación y revisión sistemática de indicadores. Esta meta debe entenderse como una referencia de desempeño para la etapa piloto y como un punto de partida para mejoras posteriores.

Figura 1. Mapa de contexto operativo del proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2026.

La figura anterior ubica el proyecto dentro de una relación directa entre mercado, empresa, proceso productivo, variables críticas y cliente final. Su función es mostrar que el defecto no nace únicamente en la última inspección del producto, sino en la gestión completa del proceso, desde la entrada de materiales hasta la entrega del prefabricado conforme.

Tabla 1. Caracterización general de INMACO SRL

Aspecto	Descripción ampliada
Nombre de la organización	INMACO SRL, empresa costarricense dedicada a la construcción general y a la fabricación de productos prefabricados de concreto.
Ubicación	Lagunillas de Garabito, Puntarenas, Costa Rica, zona que permite atender proyectos locales, rurales y costeros.
Actividad económica	Fabricación de postes, alcantarillas, bloques, bordillos y otros elementos de concreto utilizados en obras civiles.
Proceso de interés	Línea productiva de postes y alcantarillas de concreto, desde recepción de materias primas hasta almacenamiento y despacho.
Problema principal	Índice aproximado de productos defectuosos del 25 %, con impacto en costos, tiempos, calidad y rentabilidad.
Metodología de mejora	DMAIC, integrada con herramientas de calidad, análisis causal, indicadores, estandarización y seguimiento operativo.
Resultado esperado	Reducción del defecto hacia un rango meta de 5 % a 10 %, fortaleciendo la rentabilidad y la estabilidad del proceso.

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por INMACO SRL, 2026.

1.2 Identificación de la organización en donde se realiza el proyecto

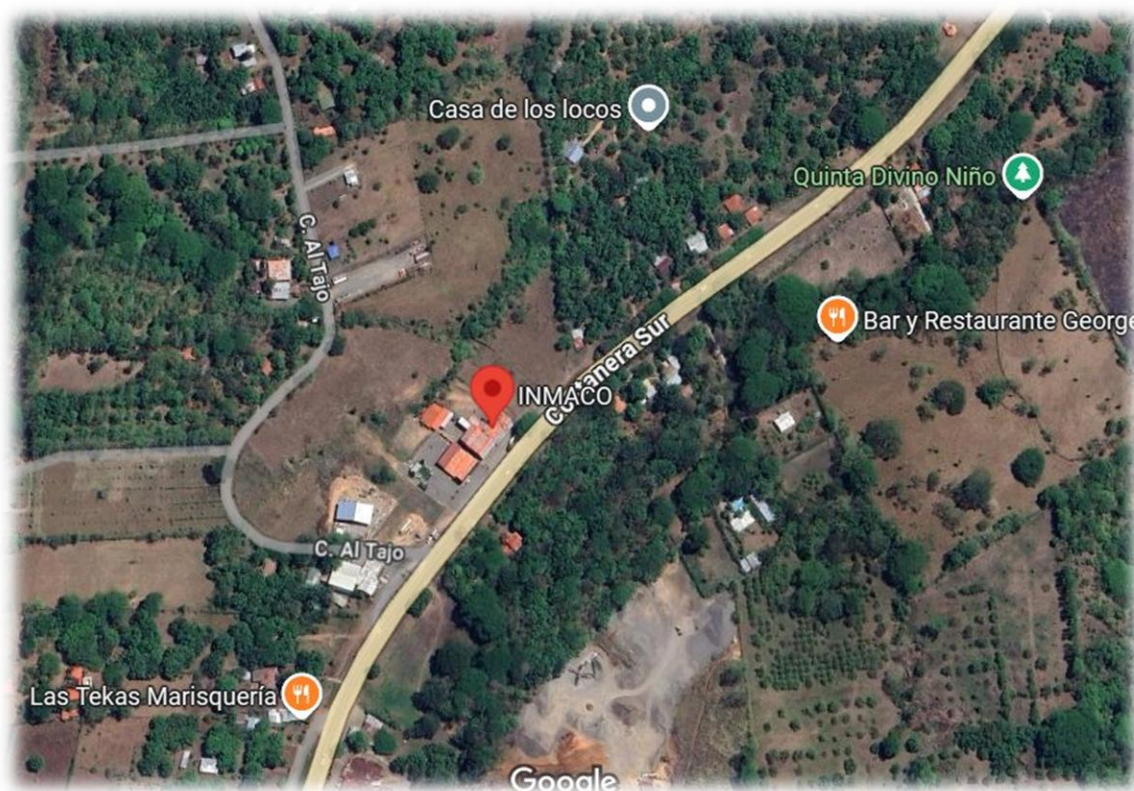
1.2.1 Descripción general de la organización

INMACO SRL es una empresa costarricense relacionada con el sector construcción y con la elaboración de elementos prefabricados de concreto. Su operación se caracteriza por combinar conocimiento práctico, uso de maquinaria pesada, manipulación de agregados, aplicación de mezclas cementicias y manejo de productos que requieren resistencia y cuidado durante el fraguado. El proyecto se desarrolla en una organización de escala local, lo que hace aún más importante que las mejoras sean prácticas, de bajo costo relativo y compatibles con las condiciones reales de trabajo.

La empresa produce elementos que forman parte de obras civiles y soluciones constructivas. Por este motivo, la calidad del producto final no solo tiene un efecto comercial, sino también técnico, pues el cliente espera piezas con resistencia, acabado, forma y estabilidad suficiente para su uso. Cuando aparecen fisuras, quiebres, deformaciones o piezas mal consolidadas, la empresa enfrenta desperdicio, reproceso y riesgo de rechazo. Esta condición explica la necesidad de trabajar sobre variables de proceso antes de que el defecto se convierta en pérdida final.

En términos operativos, la producción de prefabricados requiere controlar la recepción de materias primas, dosificación, mezcla, llenado del molde, vibrado, curado, desmolde, traslado, almacenamiento y entrega. Cada actividad tiene una relación directa con la anterior. Por ejemplo, una dosificación incorrecta puede manifestarse como baja resistencia; un vibrado insuficiente puede generar vacíos; un desmolde apresurado puede producir fracturas; y un traslado sin apoyo adecuado puede quebrar piezas que aún no han alcanzado resistencia suficiente.

Figura 2. *Ubicación geográfica referencial de la planta de producción*



Fuente: Imagen suministrada en el documento base de INMACO SRL, 2026.

La imagen permite ubicar el sitio donde se desarrolla el proceso productivo. Esta ubicación es relevante porque la empresa atiende una zona donde la logística de materiales, el clima, las distancias de entrega y la disponibilidad de recursos influyen en la programación de la producción.

Figura 3. Maquinaria utilizada para movilización interna de materiales



Fuente: Imagen suministrada en el documento base de INMACO SRL, 2026.

La maquinaria observada se utiliza para mover materiales dentro del área de trabajo. Su uso reduce esfuerzo físico, pero también requiere rutas despejadas, coordinación y criterios de seguridad para evitar golpes en piezas frescas o en proceso de curado.

Figura 4. Postes de concreto en etapa de secado y almacenamiento



Fuente: Imagen suministrada en el documento base de INMACO SRL, 2026.

La imagen muestra productos en etapa posterior al moldeado. Esta etapa exige control de curado, cuidado en la manipulación y orden de almacenamiento, debido a que la pieza aún puede estar expuesta a fisuras, quiebres o deterioros si se mueve de forma inadecuada.

Figura 5. Aditivo utilizado en la mezcla de concreto



Fuente: Imagen suministrada en el documento base de INMACO SRL, 2026.

El aditivo forma parte de las variables de mezcla que deben registrarse y controlarse. Cuando la cantidad agregada no se documenta o cambia según criterio del operario, aumenta la variabilidad del producto final y se debilita la posibilidad de rastrear el origen de un defecto.

Tabla 2. Áreas y responsabilidades vinculadas con el proceso productivo

Área o rol	Responsabilidad operativa	Riesgo si no se controla
Administración	Aprobar recursos, definir prioridades y revisar indicadores económicos.	Que las mejoras queden como acciones aisladas sin seguimiento.
Producción	Ejecutar mezcla, moldeo, vibrado, curado, desmolde y traslado.	Variabilidad operativa, defectos repetidos y pérdida de materiales.
Supervisor de planta	Coordinar el plan diario, validar registros y autorizar liberaciones.	Decisiones basadas en experiencia, sin evidencia documentada.
Operarios	Realizar actividades conforme al procedimiento y completar plantillas.	Diferencias de criterio, omisión de datos y ejecución no estandarizada.
Mantenimiento	Revisar formaletas, vibrador, herramientas y condiciones de apoyo.	Fallas por desgaste, moldes sucios o equipos sin calibración práctica.
Ventas o despacho	Coordinar entrega, almacenamiento y atención de reclamos.	Salida de producto no conforme o falta de trazabilidad ante quejas.

Fuente: Elaboración propia con base en observación del proceso, 2026.

1.2.2 Antecedentes de la organización

La organización surge de la experiencia de sus fundadores en el sector de la construcción. A partir de esa experiencia se identifica una oportunidad para fabricar elementos de concreto que respondan a necesidades locales de infraestructura. Durante los primeros años, la operación pudo sostenerse con conocimiento práctico; sin embargo, el aumento en la demanda exige controles más formales para evitar que la experiencia quede desvinculada de registros, estándares y análisis económico.

El antecedente más importante para este proyecto es que la empresa presenta pérdidas asociadas a defectos en el producto. Aunque los defectos pueden parecer parte normal de una producción manual, cuando alcanzan un valor cercano al 25 % se convierten en una señal de alerta. En ese punto, el problema deja de ser únicamente técnico y pasa a tener implicaciones financieras, comerciales y organizacionales.

Otro antecedente relevante es la necesidad de formalizar procedimientos. La producción de concreto puede depender de variables como humedad del agregado, proporción de agua, cantidad de aditivo, tiempo de vibrado, tiempo de curado y forma de traslado. Si estas variables no se registran, la empresa pierde capacidad para aprender de sus propios lotes y para comparar un lote conforme contra un lote defectuoso. Por ello, la investigación integra formatos de registro y fichas de indicadores como parte central de la solución.

Tabla 3. Antecedentes operativos que originan la investigación

Antecedente	Descripción	Implicación para el proyecto
Crecimiento de la demanda	La empresa atiende solicitudes de prefabricados para obras locales.	Obliga a mejorar planificación, calidad y capacidad de respuesta.
Producción con conocimiento práctico	Las tareas se ejecutan con experiencia operativa acumulada.	Requiere convertir la experiencia en procedimientos documentados.
Defectos cercanos al 25 %	Se observan fisuras, quiebres, baja calidad y reprocesos.	Justifica una intervención DMAIC con línea base y análisis causal.
Ausencia de registros integrados	Los datos no siempre se capturan por lote, causa, costo y responsable.	Impide calcular costo de no calidad y priorizar mejoras.
Control informal del proceso	Algunas decisiones dependen de criterio individual.	Demanda controles visuales, indicadores y auditorías internas.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Definición del problema

La empresa INMACO SRL presenta deficiencias en el proceso de fabricación de postes y alcantarillas de concreto, evidenciadas en un índice aproximado de productos defectuosos del 25 %. Los defectos principales se relacionan con fisuras, quiebres, inconsistencias de acabado, piezas con baja consolidación, fallas generadas durante el desmolde y daños durante el transporte interno. Estos defectos provocan pérdida de materiales, reproceso, ocupación innecesaria de espacio, retrasos y afectación de la rentabilidad. La problemática no se explica por una sola causa. El análisis preliminar indica que los defectos se originan en una cadena de factores: falta de un estándar formal de vibrado, ausencia de registro de dosificación por lote, variación en el criterio para liberar el desmolde, condiciones de curado no completamente controladas, formaletas que requieren mantenimiento preventivo, manipulación de piezas con apoyos insuficientes y falta de indicadores económicos. Esta combinación confirma que el problema debe abordarse como un sistema de proceso.

Desde la perspectiva de la calidad, un defecto en prefabricados de concreto no solo representa una pieza descartada. También implica cemento, agregado, agua, aditivo, energía, tiempo de operarios, uso de maquinaria, espacio de curado y oportunidad perdida de venta. En consecuencia, el costo real del defecto puede ser mayor que el costo visible del material. Por ello, este proyecto integra una lectura técnica y económica, con el fin de que la mejora sea comprensible para producción y administración.

Figura 6. Árbol del problema de calidad y desperdicio



Fuente: Elaboración propia, 2026.

El árbol del problema muestra la relación entre causas de proceso, problema central y efectos. Esta figura atiende la necesidad de explicar el problema antes de proponer soluciones; primero se identifican los factores que generan el defecto y luego se vinculan con los impactos sobre rentabilidad, capacidad y satisfacción del cliente.

Tabla 4. Formulación técnica del problema

Elemento	Formulación dentro del proyecto
Problema central	Índice aproximado de productos defectuosos del 25 % en la producción de postes y alcantarillas de concreto.
Variable principal	Porcentaje de productos defectuosos por lote producido.
VARIABLES ASOCIADAS	Tiempo de vibrado, dosificación de aditivo, tiempo de curado, condición de formaleta, daños por traslado y costo de no calidad.
Efecto económico	Consumo improductivo de materiales, mano de obra, espacio, tiempo y recursos de transporte interno.
Efecto operativo	Pérdida de capacidad, retraso en entregas, reprocesos y falta de estabilidad en el proceso.
Meta de mejora	Reducir el defecto desde 25 % hacia un rango de 5 % a 10 % mediante DMAIC.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

1.3.2 Justificación del proyecto

El proyecto se justifica en términos económicos, porque cada producto defectuoso representa una pérdida directa para la empresa. La pieza defectuosa consume materiales y horas de trabajo, pero no genera el valor de venta esperado. Cuando el defecto se repite, el impacto se acumula y reduce la rentabilidad. Por esa razón, disminuir la tasa de defectos no debe verse como una acción secundaria, sino como una estrategia para proteger el margen del negocio.

La justificación también es técnica. El concreto prefabricado exige control del proceso para lograr estabilidad. La literatura técnica sobre consolidación y curado del concreto destaca la importancia de procedimientos consistentes para evitar vacíos, segregación, fisuras y debilidades estructurales (ACI Committee 309, 2005; ACI Committee 308, 2016). Asimismo, las normas ASTM sobre muestreo, asentamiento y resistencia permiten comprender que la calidad del concreto se sostiene mediante mediciones, no por apreciación visual aislada (ASTM International, 2020, 2021, 2023a).

Desde la Ingeniería Industrial, el proyecto se justifica porque transforma un problema operativo en un sistema de mejora. DMAIC permite ordenar la intervención y evita que la propuesta se base únicamente en opiniones. Además, herramientas como Pareto, 5 porqués, Ishikawa y FMEA permiten priorizar causas, reducir dispersión y enfocar recursos en los factores que explican la mayor parte del problema (American Society for Quality, s. f.-a, s. f.-b, s. f.-c).

Finalmente, la investigación tiene valor organizacional porque crea documentos utilizables: procedimientos, fichas de indicadores, registros por lote, control económico, checklist de vibrado, control de dosificación, auditoría 5S y plan de capacitación. Estos instrumentos permiten que la mejora no dependa únicamente de la memoria de los trabajadores, sino de un método repetible que pueda revisarse y actualizarse con el tiempo.

Tabla 5. Justificación del proyecto por dimensión de impacto

Dimensión	Necesidad identificada	Contribución esperada
Económica	Reducir pérdida por materiales, reproceso y productos descartados.	Mejorar rentabilidad mediante disminución del costo de no calidad.
Técnica	Controlar variables críticas de vibrado, mezcla, curado y traslado.	Aumentar consistencia del producto final y reducir variabilidad del proceso.
Operativa	Ordenar responsabilidades, secuencias y registros.	Disminuir errores de ejecución y facilitar seguimiento por lote.
Comercial	Entregar piezas más confiables y disminuir reclamos.	Fortalecer confianza del cliente y reputación local de la empresa.
Académica	Aplicar herramientas de Ingeniería Industrial a un problema real.	Demostrar uso integrado de DMAIC, análisis causal e indicadores.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

1.4 Objetivos del proyecto

1.4.1 Objetivo general

Optimizar el proceso logístico-productivo de postes y alcantarillas de concreto en INMACO SRL mediante la metodología DMAIC para la reducción del índice de productos defectuosos, la mejora de la eficiencia operativa, el fortalecimiento de la calidad del producto final y el incremento de la rentabilidad.

1.4.2 Objetivos específicos

- Definir las principales causas de los defectos en los productos de concreto mediante la caracterización del proceso actual, la observación operativa y la recopilación de información disponible.
- Medir el impacto de las fallas estructurales, errores de vibrado, variabilidad en la dosificación, quiebres en desmolde y daños por transporte interno mediante indicadores de calidad y costo.

- Analizar los procesos críticos mediante herramientas de causa raíz, priorización y evaluación de riesgo, con énfasis en mezclado, moldeo, vibrado, curado, desmolde y traslado.
- Implementar una propuesta de mejora basada en procedimientos estandarizados, plantillas de control, capacitación técnica y seguimiento de variables críticas del proceso.
- Controlar la sostenibilidad de la mejora mediante indicadores de calidad, auditorías internas, revisión económica por lote y mecanismos de actualización documental.

Tabla 6. Trazabilidad entre objetivos específicos y productos esperados

Objetivo específico	Producto metodológico	Evidencia esperada
Definir causas principales	Mapa de proceso, SIPOC, árbol del problema y observación inicial.	Descripción clara del proceso y variables críticas.
Medir impacto de fallas	Línea base de defectos, costo por lote y registros de calidad.	Datos comparables antes y después de la mejora.
Analizar procesos críticos	Ishikawa, 5 porqués, Pareto, FMEA y 5S.	Causas raíz priorizadas con evidencia.
Implementar mejora	Procedimientos, BPMN, plantillas, capacitación y piloto.	Plan de acción aplicable y documentado.
Controlar sostenibilidad	Indicadores, tablero, auditorías y revisión económica.	Seguimiento formal de resultados y correcciones.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

- El proyecto abarca la línea de producción de postes y alcantarillas de concreto dentro de las instalaciones de INMACO SRL.
- Se analiza el proceso desde la recepción de materias primas hasta el almacenamiento del producto terminado.
- Se aplican herramientas DMAIC para definir, medir, analizar, mejorar y controlar el problema de defectos.
- Se diseñan procedimientos, fichas de indicadores, plantillas operativas y diagramas BPMN simplificados para actividades críticas.
- Se propone una evaluación económica referencial para estimar costo de no calidad, ahorro esperado, retorno sobre la inversión y recuperación.

- Se incluye un plan de capacitación y una ruta de implementación piloto para validar la propuesta antes de escalarla a toda la operación.

1.5.2 Limitaciones

- El proyecto no contempla compra de maquinaria nueva, debido a que la propuesta se enfoca en mejoras de método, control, documentación y gestión operativa.
- Los datos económicos se presentan como valores referenciales y deben ajustarse con facturas, planillas y registros reales de la empresa antes de una inversión formal.
- La implementación total dependerá de la disponibilidad de personal, tiempo productivo, autorización administrativa y disciplina en el llenado de registros.
- El análisis no sustituye ensayos de laboratorio certificados; cuando se requiera validación estructural formal, la empresa debe apoyarse en laboratorios acreditados.
- Las conclusiones se delimitan al período y condiciones observadas; cambios en materiales, proveedores, clima o volumen de producción pueden requerir actualización del diagnóstico.

Tabla 7. Matriz de alcance, exclusiones y criterios de aceptación

Elemento	Incluido en el proyecto	No incluido / restricción
Producto	Postes y alcantarillas de concreto.	Otros productos solo se consideran como referencia.
Proceso	Recepción, dosificación, mezcla, moldeo, vibrado, curado, desmolde, traslado y almacenamiento.	Diseño estructural del producto o cálculo de ingeniería civil.
Recursos	Procedimientos, plantillas, capacitación, indicadores y controles visuales.	Compra de maquinaria nueva o remodelación mayor.
Datos	Registros disponibles, observación y estimaciones referenciales.	Auditoría financiera completa o certificación de laboratorio.
Criterio de éxito	Reducción del defecto y mayor trazabilidad por lote.	Garantía absoluta de cero defectos sin validación posterior.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

El marco teórico establece los conceptos, herramientas y referencias técnicas que sustentan el proyecto. Para evitar un desarrollo únicamente descriptivo, cada apartado se vincula con el problema de INMACO SRL y con la necesidad de reducir defectos en prefabricados de concreto. El capítulo se organiza en tres bloques: conceptos generales de Ingeniería Industrial, herramientas de gestión de mejora y criterios técnicos relacionados con concreto, calidad e impacto económico.

La teoría se utiliza como base para comprender por qué un producto puede resultar defectuoso, cómo se identifica una causa raíz, qué tipo de datos deben registrarse y de qué forma se sostiene una mejora. En consecuencia, este capítulo no se limita a definir herramientas, sino que explica su utilidad dentro de la investigación y prepara el camino metodológico para el diagnóstico del Capítulo IV y la propuesta del Capítulo V.

2.1 Marco conceptual general relativo a la carrera

2.1.1 Ingeniería Industrial y mejora de procesos

La Ingeniería Industrial se orienta al diseño, mejora e integración de sistemas productivos compuestos por personas, materiales, información, métodos y equipos. En una empresa como INMACO SRL, esta disciplina permite estudiar la operación de manera integral, evitando que los defectos se interpreten como fallas aisladas del operario. El enfoque industrial exige revisar secuencias, tiempos, movimientos, condiciones de trabajo, indicadores, costos y resultados de calidad.

La mejora de procesos implica comparar una condición actual contra una condición deseada. Para ello, se requiere levantar información, identificar variabilidad, distinguir síntomas de causas y diseñar controles que puedan mantenerse en el tiempo. En el caso de prefabricados de concreto, la mejora debe observar tanto la estabilidad del producto como la eficiencia del proceso, porque un defecto genera pérdida material y afecta la productividad.

El aporte de la Ingeniería Industrial es especialmente útil cuando la organización cuenta con experiencia práctica, pero no con suficiente documentación. La estandarización permite convertir el conocimiento operativo en reglas visibles; los indicadores permiten medir cumplimiento; y el análisis causal permite orientar recursos hacia las causas más relevantes. Por esa razón, la investigación utiliza herramientas de calidad, control y rentabilidad.

2.1.2 Gestión de operaciones y productividad

La gestión de operaciones estudia la forma en que las organizaciones transforman insumos en productos. Según Heizer et al. (2020), la administración de operaciones incluye decisiones sobre procesos, calidad, capacidad, inventarios, mantenimiento y recursos humanos. En INMACO SRL, estos elementos aparecen en la relación entre materias primas, mezcla, formaletas, vibrado, curado, traslado y entrega del producto terminado.

La productividad no se limita a producir más unidades. También incluye producir con menos desperdicio, menos reproceso y mayor consistencia. Un lote con 25 % de defectos puede requerir más materiales y horas para alcanzar la misma cantidad de piezas vendibles que un lote con 5 % de defectos. Por ello, la productividad se relaciona directamente con calidad y rentabilidad.

El análisis de operaciones permite valorar la secuencia completa del proceso y no solo la actividad donde se observa el defecto. Una fisura encontrada al final puede originarse en una dosificación incorrecta, una vibración deficiente o un traslado inadecuado. Esta lógica de proceso fundamenta la necesidad de mapear actividades y establecer puntos de control.

2.1.3 Calidad del producto y control de conformidad

La calidad puede entenderse como el grado en que un producto cumple los requisitos establecidos. En prefabricados de concreto, esos requisitos incluyen forma, resistencia, acabado, integridad visual y ausencia de daños que comprometan el uso previsto. La norma ISO 9001:2015 establece la importancia de controlar procesos, evidencias, responsabilidades y acciones de mejora dentro de un sistema de gestión de calidad (International Organization for Standardization, 2015).

El control de conformidad requiere criterios claros. Si dos personas inspeccionan una pieza y aplican criterios diferentes, la organización pierde consistencia. Por esta razón, el proyecto propone listas de verificación y criterios de aceptación por lote. Estos instrumentos no reemplazan ensayos certificados, pero permiten mejorar el control interno y detectar desviaciones antes de que el producto salga al cliente.

El enfoque de calidad también exige registrar la causa probable del defecto. No basta con marcar una pieza como defectuosa; se debe identificar si el problema se relaciona con mezcla, vibrado, curado, desmolde, traslado, formaleta o almacenamiento. Esa clasificación permite elaborar Pareto y priorizar acciones.

2.1.4 Producción de prefabricados de concreto

Los prefabricados de concreto son elementos producidos antes de su instalación final. Su fabricación requiere una combinación controlada de materiales, moldes, compactación, curado y manipulación. Aunque el proceso puede parecer sencillo, la calidad final depende de variables que deben mantenerse dentro de rangos aceptables.

La producción de postes y alcantarillas exige atención al llenado completo de formaletas, eliminación de vacíos, consolidación adecuada, tiempo de fraguado y cuidado durante el desmolde. La literatura técnica del American Concrete Institute resalta que la consolidación del concreto debe asegurar la eliminación de aire atrapado sin provocar segregación (ACI Committee 309, 2005). Este principio se relaciona directamente con el problema de vibrado observado en el proyecto.

En empresas de menor escala, la fabricación puede depender del criterio práctico de los operarios. Ese conocimiento es valioso, pero debe complementarse con estándares, registros e indicadores. Cuando el proceso se documenta, la empresa puede repetir las condiciones que generan piezas conformes y corregir las condiciones que generan defectos.

2.1.5 Dosificación, mezcla y aditivos

La dosificación define la proporción de los componentes de la mezcla. Un cambio no controlado en cemento, agua, agregado o aditivo puede alterar trabajabilidad, resistencia, tiempo de fraguado y acabado. Por ello, el proyecto propone una ficha de dosificación por lote que indique cantidades, responsable, hora, observaciones y aprobación.

El uso de aditivos puede aportar beneficios, pero también introduce una variable que debe controlarse. Si la cantidad de aditivo se estima visualmente o cambia según la persona que prepara la mezcla, el proceso pierde repetibilidad. La ficha de dosificación permite evitar que los cambios queden sin registro y facilita analizar si un lote defectuoso coincide con variaciones en la mezcla.

ASTM C94/C94M establece criterios relacionados con concreto premezclado y control de sus condiciones, mientras que ASTM C143/C143M se utiliza como referencia para evaluar asentamiento en concreto hidráulico (ASTM International, 2020, 2023b). Aunque la empresa no necesariamente realice todos los ensayos formales, estas referencias sustentan la importancia de medir y registrar condiciones de mezcla.

2.1.6 Vibrado y consolidación del concreto

El vibrado permite consolidar el concreto dentro del molde, reducir vacíos y mejorar la distribución del material. Un vibrado insuficiente puede dejar espacios internos y debilitar la pieza; un vibrado excesivo puede favorecer segregación o acumulación de pasta en ciertas zonas. Por ello, el vibrado debe estar definido por tiempo, secuencia, punto de aplicación y criterio visual.

La guía ACI 309R señala que la consolidación adecuada es necesaria para obtener concreto denso, homogéneo y libre de vacíos perjudiciales (ACI Committee 309, 2005). Este aspecto se vincula con los defectos observados en postes y alcantarillas, debido a que fisuras o zonas débiles pueden originarse durante una compactación deficiente.

En el proyecto, el vibrado se considera una causa crítica por su alta relación con fallas estructurales y defectos visuales. La propuesta de mejora incluye un procedimiento de vibrado, una lista de verificación y un indicador de cumplimiento. Estos instrumentos buscan que el operario no dependa únicamente de la percepción, sino de un estándar mínimo acordado.

2.1.7 Curado, fraguado y autorización de desmolde

El curado es el conjunto de acciones destinadas a conservar condiciones favorables para el desarrollo de resistencia del concreto. Un curado inadecuado puede generar fisuras, pérdida de humedad, baja resistencia superficial y daños al manipular la pieza. Por ello, el control de curado debe incluir hora de inicio, método aplicado, responsable, condición ambiental y autorización para desmolde.

ACI 308R desarrolla criterios generales sobre curado externo del concreto y destaca la importancia de mantener humedad y temperatura adecuadas para favorecer el desempeño del material (ACI Committee 308, 2016). En el contexto de INMACO SRL, esta referencia ayuda a justificar que el desmolde no debe depender solo de urgencia productiva o disponibilidad de espacio.

La autorización de desmolde se incorpora como un control preventivo. Antes de mover una pieza, el responsable debe revisar que se haya cumplido el tiempo mínimo definido, que no existan fisuras visibles críticas y que la pieza cuente con apoyo suficiente. Este control reduce quiebres generados por manipulación prematura.

2.1.8 Logística interna de materiales y producto terminado

La logística interna comprende el movimiento de materias primas, herramientas, moldes, piezas en proceso y producto terminado dentro de la planta. En prefabricados de concreto, la logística interna es crítica porque las piezas pueden ser pesadas, frágiles durante ciertas etapas y sensibles a golpes o apoyos mal distribuidos.

Una ruta de traslado desordenada puede provocar daños, interrupciones y pérdida de tiempo. Por ello, el proyecto propone reglas para transporte interno, zonas de apoyo, rutas despejadas, identificación por lote y almacenamiento con separación suficiente. Estas medidas no requieren inversión elevada, pero sí disciplina operacional.

Desde la perspectiva de operaciones, el traslado no debe considerarse una actividad secundaria. Un producto correctamente mezclado y vibrado puede dañarse si se mueve antes de tiempo o si se apoya de forma incorrecta. Por esta razón, la propuesta incluye el transporte interno como uno de los procedimientos críticos.

2.1.9 Trabajo estandarizado y documentación operativa

El trabajo estandarizado consiste en definir la mejor forma conocida de realizar una actividad, documentarla y capacitar al personal para ejecutarla de manera consistente. Womack y Jones (2003) plantean que la eliminación de desperdicios requiere comprender el flujo de valor y reducir actividades que no agregan valor. En este proyecto, la estandarización busca disminuir defectos y evitar que cada operario aplique criterios distintos.

La documentación operativa debe ser clara, breve y verificable. Un procedimiento no debe quedarse en un texto general, sino indicar objetivo, alcance, responsable, materiales, pasos, registros y criterios de aceptación. Por ese motivo, el Capítulo V desarrolla procedimientos específicos con diagramas BPMN, fichas de indicador e instructivos de llenado.

La estandarización también facilita la capacitación. Cuando existe un documento común, el entrenamiento puede ser uniforme y las auditorías pueden revisar cumplimiento. Sin documento, la supervisión queda limitada a comentarios verbales que pueden cambiar con el tiempo.

2.1.10 Indicadores de desempeño y costo de no calidad

Los indicadores de desempeño permiten transformar observaciones en datos. En el proyecto se utilizan indicadores de defectos, cumplimiento de vibrado, dosificación correcta,

liberación de desmolde, daños por traslado, costo de no calidad, registros completos y auditoría 5S. Cada indicador debe tener fórmula, unidad, frecuencia, responsable, fuente y meta.

El costo de no calidad corresponde a los recursos consumidos por fallas, reprocesos, desperdicios y actividades que no generan valor. Para INMACO SRL, este costo incluye material perdido, mano de obra, uso de maquinaria, espacio ocupado y oportunidad de venta. Medirlo permite que la administración comprenda la mejora en términos financieros.

La literatura de calidad y control estadístico destaca que los procesos deben administrarse con datos y variación observable (Montgomery, 2020). En consecuencia, la mejora propuesta no se basa únicamente en reducir defectos visibles, sino en establecer un sistema de medición que permita comparar resultados semana a semana.

Tabla 8. Relación entre conceptos teóricos y uso dentro del proyecto

Concepto	Uso en el proyecto	Resultado esperado
Ingeniería Industrial	Integra personas, método, materiales, medición y equipo.	Diagnóstico sistémico del proceso.
Gestión de operaciones	Analiza flujo, capacidad, productividad y calidad.	Mejor control de la línea productiva.
Calidad	Define criterios de conformidad y defectos.	Clasificación objetiva de piezas buenas y defectuosas.
Trabajo estandarizado	Documenta pasos y responsabilidades.	Menor variabilidad entre operarios.
Indicadores	Miden defectos, costos y cumplimiento.	Seguimiento semanal de resultados.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.2 Herramientas de calidad aplicadas

Las herramientas de calidad utilizadas en la investigación se seleccionan por su capacidad para ordenar información, facilitar análisis causal y transformar datos en decisiones. No se utilizan como adornos metodológicos, sino como instrumentos encadenados: primero se comprende el proceso; luego se identifican causas; después se priorizan; finalmente se diseña una solución con controles.

Tabla 9. Herramientas aplicadas y propósito metodológico

Herramienta	Propósito dentro de la investigación
SIPOC	Permite visualizar proveedores, entradas, proceso, salidas y clientes. En el proyecto se utiliza para ubicar las variables críticas desde materia prima hasta producto terminado.
Diagrama de flujo	Ordena las actividades del proceso y permite explicar cada paso antes de diagnosticar defectos. Atiende la necesidad de describir el proceso con mayor detalle.
Lluvia de ideas	Reúne percepciones de operación, supervisión y administración para construir una primera lista de posibles causas.
Ishikawa 6M	Clasifica las causas bajo método, mano de obra, máquina, materiales, medición y medio ambiente (American Society for Quality, s. f.-b).
5 porqués	Profundiza en causas inmediatas hasta llegar a causas de sistema o control (American Society for Quality, s. f.-d).
Pareto	Prioriza las causas que explican la mayor parte del problema (American Society for Quality, s. f.-c).
FMEA	Evalúa riesgo mediante severidad, ocurrencia y detección, permitiendo priorizar acciones preventivas.
5S	Ordena el área de trabajo, reduce búsqueda de herramientas y mejora disciplina visual.

Fuente: Elaboración propia con base en ASQ, 2026.

Figura 7. Ruta metodológica DMAIC aplicada al proyecto

Fuente: Elaboración propia, 2026.

La ruta DMAIC muestra que la propuesta se construye progresivamente. No se inicia proponiendo soluciones; primero se delimita el problema, luego se mide, se analizan causas y finalmente se estructura el plan de mejora y control.

Figura 8. SIPOC del proceso productivo de prefabricados



Fuente: Elaboración propia, 2026.

El SIPOC sintetiza el proceso completo y evidencia que los defectos pueden originarse desde la entrada de materiales hasta el almacenamiento. Esta figura se usa como base para construir la metodología y el diagnóstico.

2.3 Normativa técnica y referencias de control para el concreto

La investigación no pretende certificar formalmente la resistencia de los productos ni sustituir ensayos técnicos realizados por laboratorios. No obstante, sí incorpora referencias técnicas para sustentar la necesidad de controlar variables críticas del concreto. Las normas ASTM y guías ACI permiten justificar que aspectos como asentamiento, curado, resistencia y consolidación no deben dejarse a criterio subjetivo.

ASTM C143/C143M se relaciona con el método de ensayo para asentamiento del concreto hidráulico; ASTM C31/C31M aborda la elaboración y curado de especímenes en campo; ASTM C39/C39M se vincula con resistencia a compresión; y ASTM C94/C94M establece criterios para concreto premezclado (ASTM International, 2020, 2021, 2023a, 2023b). Estas referencias no implican que INMACO deba implementar todos los ensayos de inmediato, pero sí respaldan la importancia de registrar condiciones de proceso.

Desde un punto de vista práctico, la empresa puede iniciar con controles internos simples: dosificación por lote, tiempo de vibrado, control de curado, autorización de desmolde, revisión visual y clasificación de defectos. Posteriormente, si la empresa requiere mayor robustez técnica, puede apoyarse en laboratorios externos para validar resistencia, composición o desempeño.

Tabla 10. Referencias técnicas asociadas a variables críticas del proceso

Referencia	Variable relacionada	Aplicación en el proyecto
ACI 309R	Consolidación y vibrado.	Justifica estandarizar tiempo, secuencia y criterio de vibrado.
ACI 308R	Curado del concreto.	Sustenta control de humedad, tiempo y autorización de desmolde.
ASTM C143/C143M	Asentamiento del concreto.	Sirve como referencia para controlar trabajabilidad de la mezcla.
ASTM C31/C31M	Muestras y curado en campo.	Respalda la importancia de condiciones de curado controladas.
ASTM C39/C39M	Resistencia a compresión.	Orienta futura validación externa de calidad estructural.
ISO 9001:2015	Gestión de calidad y evidencia documentada.	Sustenta registros, responsabilidades y mejora continua.

Fuente: Elaboración propia con base en ACI, ASTM e ISO, 2026.

2.4 Marco conceptual referente al impacto del proyecto

El impacto del proyecto puede analizarse en cuatro dimensiones: económica, operativa, técnica y organizacional. La dimensión económica se relaciona con la reducción del costo de no calidad; la operativa con disminución de reprocesos y tiempos improductivos; la técnica con estabilidad de variables críticas; y la organizacional con aprendizaje, disciplina y trazabilidad.

La reducción de defectos tiene un efecto multiplicador. Si se disminuye el desperdicio, la empresa puede producir más unidades conformes con los mismos recursos. Además, la reducción de piezas defectuosas libera espacio, reduce movimientos innecesarios y mejora la planificación del despacho. Esto permite que la mejora no sea vista únicamente como control de calidad, sino como estrategia de rentabilidad.

En términos de cultura organizacional, el proyecto promueve una transición desde decisiones basadas en costumbre hacia decisiones basadas en datos. Esta transición no busca desvalorizar la experiencia del personal, sino complementarla con registros e indicadores. Cuando la experiencia se documenta, puede enseñarse, auditarse y mejorarse.

Tabla 11. Impactos esperados del proyecto

Dimensión	Indicador relacionado	Resultado esperado
Económica	Costo de no calidad por lote.	Reducción progresiva de desperdicio y reproceso.
Operativa	Cumplimiento de procedimientos críticos.	Mayor estabilidad en mezcla, vibrado y desmolde.
Técnica	Defectos por tipo de causa.	Priorización de acciones con datos.
Organizacional	Registros completos y auditoría 5S.	Mayor disciplina y seguimiento interno.
Comercial	Reclamos y devoluciones.	Producto más confiable y mejor imagen ante clientes.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.5 Antecedentes de proyectos o experiencias semejantes

Diversos proyectos de mejora en entornos industriales utilizan DMAIC para resolver problemas de calidad, productividad y costos. Pyzdek y Keller (2018) explican que Seis Sigma y DMAIC se orientan a reducir variación, mejorar procesos y tomar decisiones con base en datos. Aunque el caso de INMACO SRL no requiere un despliegue estadístico complejo, sí se beneficia de la lógica estructurada de la metodología.

George et al. (2005) resaltan que Lean Six Sigma combina velocidad, calidad y reducción de desperdicio. Esta idea es compatible con el proyecto, porque la empresa necesita disminuir productos defectuosos sin detener su operación cotidiana. En vez de plantear mejoras costosas, se proponen controles operativos de bajo costo, capacitación y estandarización.

La literatura de operaciones también señala que la mejora debe conectar procesos internos con resultados financieros (Krajewski et al., 2019; Slack & Brandon-Jones, 2022). En este proyecto, esa conexión se realiza mediante el cálculo de costo de no calidad y la evaluación de escenarios de ahorro. Así, la propuesta se vuelve comprensible tanto para producción como para administración.

Tabla 12. Síntesis de antecedentes utilizados como orientación estructural

Autor / fuente	Aporte principal	Uso dentro del proyecto
Pyzdek y Keller (2018)	DMAIC como ruta de mejora basada en datos.	Estructura metodológica del estudio.
George et al. (2005)	Integración de Lean Six Sigma para reducir desperdicios.	Enfoque de calidad, eficiencia y rentabilidad.
Montgomery (2020)	Control estadístico y análisis de variación.	Diseño de indicadores y lectura de datos.
Krajewski et al. (2019)	Gestión de operaciones y procesos.	Relación entre flujo productivo y resultados.
ACI y ASTM	Criterios técnicos para concreto.	Sustento de vibrado, curado, mezcla y control.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

CAPÍTULO III:
METODOLOGÍA DE TRABAJO

Este capítulo describe la metodología aplicada para desarrollar el proyecto. La estructura se organiza según DMAIC, con el propósito de asegurar coherencia entre objetivos, herramientas, fuentes de información, productos esperados y mecanismos de control. Además, se incorporan tablas específicas para cada fase, atendiendo la necesidad de que la metodología no quede descrita solo en texto, sino mediante instrumentos verificables.

La investigación se plantea como un estudio aplicado de Ingeniería Industrial, orientado a resolver una situación real en una empresa productora de prefabricados de concreto. Por tanto, el enfoque metodológico combina observación directa, revisión de registros, entrevistas operativas, análisis documental, construcción de indicadores y diseño de una propuesta técnica. Los resultados no pretenden convertirse en una certificación externa del producto, sino en un sistema interno de mejora operativa y económica.

3.1 Enfoque metodológico

El estudio utiliza un enfoque aplicado, descriptivo y propositivo. Es aplicado porque busca intervenir un problema real de la organización; descriptivo porque caracteriza el proceso actual y sus defectos; y propositivo porque diseña una solución técnica orientada a reducir defectos y mejorar rentabilidad. El enfoque se apoya en herramientas de calidad y mejora continua, pero se adapta a las condiciones de una empresa local.

La metodología se desarrolla con una lógica no experimental, debido a que no se manipulan variables en condiciones de laboratorio. En su lugar, se observa el proceso existente, se sistematiza información disponible y se formula una propuesta de mejora. Cuando se plantea el piloto, este se define como una implementación controlada dentro de la operación, no como un experimento aislado.

La unidad de análisis principal corresponde al proceso productivo de postes y alcantarillas de concreto. Las unidades de observación son las actividades críticas del proceso: recepción de materias primas, dosificación, mezcla, moldeo, vibrado, curado, desmolde, transporte interno y almacenamiento. Estas actividades se analizan porque tienen relación directa con la aparición de defectos.

Figura 9. Flujo actual con puntos críticos de control



Fuente: Elaboración propia, 2026.

El flujo de proceso se incluye antes del análisis de causas para responder a la observación metodológica de explicar el proceso con detalle antes de presentar diagramas diagnósticos. Cada etapa tiene variables críticas que deben observarse, registrarse y controlarse.

Tabla 13. Diseño metodológico general de la investigación

Elemento metodológico	Definición aplicada al proyecto
Tipo de estudio	Aplicado, descriptivo y propositivo.
Método de mejora	DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.
Unidad de análisis	Proceso productivo de postes y alcantarillas de concreto en INMACO SRL.
Fuentes de información	Observación directa, registros disponibles, entrevistas operativas, revisión documental e información económica referencial.
Herramientas principales	SIPOC, flujo de proceso, Ishikawa, 5 porqués, Pareto, FMEA, 5S, KPI, procedimientos y BPMN.
Producto final	Diagnóstico causal y propuesta de mejora con procedimientos, plantillas, indicadores, cronograma y evaluación económica.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.2 Trazabilidad entre objetivos, fases DMAIC y evidencias

La trazabilidad metodológica evita que los objetivos queden desconectados del desarrollo del trabajo. Cada objetivo específico se vincula con una fase DMAIC, herramientas concretas y evidencias verificables. Esta relación permite revisar si el proyecto cumple lo prometido en el planteamiento del problema.

Tabla 14. Relación entre objetivos, fases DMAIC y evidencias

Objetivo	Fase DMAIC principal	Herramientas	Evidencia generada
Definir causas principales	Definir	SIPOC, flujo, árbol del problema, observación.	Caracterización del proceso y delimitación del problema.
Medir impacto de fallas	Medir	Línea base, registros, cálculo de costo.	Datos de defectos, frecuencia y costo de no calidad.
Analizar procesos críticos	Analizar	Ishikawa, 5 porqués, Pareto, FMEA, 5S.	Causas raíz priorizadas.
Implementar propuesta	Mejorar	Procedimientos, BPMN, plantillas, capacitación.	Plan de mejora operativa.
Controlar sostenibilidad	Controlar	KPI, tablero, auditoría y revisión económica.	Sistema de seguimiento y control.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.3 Fase Definir

La fase Definir delimita el problema y evita que la investigación inicie con soluciones prematuras. En esta etapa se identifican el proceso afectado, el producto principal, las personas involucradas, el impacto del defecto, el alcance y la meta de mejora. Además, se establece la relación entre el problema operativo y la rentabilidad de la empresa.

Para esta fase se utilizan observación preliminar, revisión de información general de la empresa, descripción del proceso, árbol del problema y SIPOC. La evidencia esperada es una formulación clara del problema, de manera que el Capítulo IV pueda analizar causas y no solo síntomas.

Tabla 15. Estructura metodológica de la Fase Definir

Componente	Aplicación concreta	Producto esperado
Problema	Defectos cercanos al 25 % en postes y alcantarillas.	Declaración técnica del problema.
Cliente interno	Administración, producción y supervisión.	Requerimientos de control y reducción de desperdicio.
Cliente externo	Contratistas, obras civiles y compradores locales.	Necesidad de producto conforme y entrega confiable.
Alcance	Proceso productivo de prefabricados seleccionados.	Límites claros para evitar dispersión.
Meta	Reducir defectos hacia 5 % a 10 %.	Objetivo operativo medible.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.4 Fase Medir

La fase Medir establece la línea base del proceso. Su propósito es responder cuántos defectos se presentan, dónde se manifiestan, qué tipo de defectos predominan y cuál es su impacto económico. Para ello, se proponen registros por lote, clasificación de defectos, cálculo de costo de no calidad y revisión de cumplimiento de variables críticas.

La medición debe realizarse con criterios uniformes. Si un lote se evalúa con una regla y otro lote con una regla diferente, los datos pierden utilidad. Por eso, el proyecto incluye definiciones operativas de defecto, formatos de registro y fichas de indicadores. La medición no debe verse como tarea administrativa adicional, sino como condición para tomar decisiones acertadas.

Tabla 16. Estructura metodológica de la Fase Medir

Variable	Forma de medición	Frecuencia	Responsable
Índice de defectos	Defectuosos / unidades producidas \times 100.	Por lote y semanal.	Supervisor de planta.
Defectos por causa	Clasificación por tipo: vibrado, dosificación, desmolde, traslado, formaleta.	Por lote.	Producción y supervisor.

Costo de no calidad	Material + mano de obra + recursos asociados a producto defectuoso.	Semanal y mensual.	Administración.
Cumplimiento de vibrado	Actividades cumplidas / actividades requeridas $\times 100$.	Por lote.	Operario responsable.
Registros completos	Formatos completos / formatos requeridos $\times 100$.	Semanal.	Supervisor.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.5 Fase Analizar

La fase Analizar tiene como propósito convertir los datos y observaciones en causas raíz. Para ello, se aplican herramientas complementarias. El Ishikawa organiza causas potenciales; los 5 porqués profundizan sobre causas críticas; Pareto permite priorizar; FMEA evalúa riesgo; y el diagnóstico 5S revisa condiciones de orden, limpieza y disciplina.

Esta fase es especialmente importante porque determina la calidad del Capítulo V. Si el diagnóstico no está bien sustentado, la propuesta puede parecer inventada. Por esa razón, las causas se validan mediante criterios de evidencia: relación con defectos observados, repetición, impacto económico, posibilidad de control y vínculo con la operación real.

Tabla 17. Estructura metodológica de la Fase Analizar

Herramienta	Información que utiliza	Decisión que permite
Ishikawa 6M	Ideas, observación y categorías de proceso.	Agrupar causas por dimensión.
5 porqués	Causas críticas seleccionadas.	Identificar causa de sistema.
Pareto	Frecuencia o ponderación de causas.	Priorizar causas de mayor impacto.
FMEA	Severidad, ocurrencia y detección.	Determinar acciones preventivas prioritarias.
5S	Condiciones del área productiva.	Definir mejoras de orden y disciplina.

Fuente: Elaboración propia, 2026

3.6 Fase Mejorar

La fase Mejorar diseña las acciones correctivas y preventivas. En el proyecto, esta fase no se limita a indicar que se debe capacitar al personal; se construyen procedimientos específicos, diagramas BPMN, plantillas de control, fichas de indicadores, matriz de responsabilidades y plan de implementación.

Cada mejora se vincula con una causa diagnosticada. Por ejemplo, si la variable vibrado se identifica como causa prioritaria, la solución incluye procedimiento de vibrado, checklist e indicador. Si la dosificación cambia sin registro, la solución incluye ficha de dosificación, aprobación por lote y control de cantidades. Esta relación causa-solución evita propuestas genéricas.

Tabla 18. Estructura metodológica de la Fase Mejorar

Causa priorizada	Acción de mejora	Documento o evidencia
Vibrado inconsistente	Estandarizar tiempo, secuencia y revisión visual.	Procedimiento BPMN, checklist e indicador.
Dosificación variable	Registrar cantidades y responsable por lote.	Ficha de dosificación e indicador.
Desmolde prematuro	Definir autorización de curado y liberación.	Control de curado y desmolde.
Transporte interno deficiente	Establecer ruta, apoyos y reglas de manipulación.	Procedimiento de traslado y checklist.
Falta de control económico	Crear herramienta de cálculo de costo de no calidad.	Tabla de cálculo y reporte mensual.

Fuente: Elaboración propia, 2026

3.7 Fase Controlar

La fase Controlar busca que las mejoras no se pierdan después de la entrega del trabajo. Para ello, se definen indicadores, frecuencia de revisión, responsables y acciones de reacción. El control incluye revisión semanal de defectos, auditoría mensual 5S, seguimiento de costos y análisis de cumplimiento documental.

El control debe ser simple y constante. Si el sistema de seguimiento es demasiado complejo, es probable que no se mantenga. Por ello, se propone un tablero básico con pocos indicadores críticos. Estos indicadores deben revisarse en reuniones breves de producción y deben generar acciones correctivas cuando se alejen de la meta.

Tabla 19. Estructura metodológica de la Fase Controlar

Indicador	Meta sugerida	Frecuencia	Acción si no cumple
Índice de defectos	5 % a 10 % en etapa piloto.	Semanal.	Revisar causa dominante y ejecutar contención.
Cumplimiento de vibrado	≥ 95 %.	Por lote.	Reentrenar y verificar procedimiento.
Dosificación correcta	≥ 98 %.	Por lote.	Bloquear lote hasta aclarar desviación.
Registros completos	100 %.	Semanal.	Revisión con responsable y cierre de pendientes.
Auditoría 5S	≥ 85/100.	Mensual.	Plan de orden y limpieza con responsable.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.8 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Los instrumentos de recolección de información se diseñan para capturar datos del proceso sin interrumpir excesivamente la operación. Se incluyen formularios por lote, hojas de observación, checklist de vibrado, ficha de dosificación, control de curado, registro económico y auditoría 5S. Cada instrumento tiene un objetivo definido y un responsable.

La validez práctica de los instrumentos se apoya en tres criterios: que el dato sea observable, que el responsable pueda completarlo en el momento de la actividad y que la información sea útil para tomar decisiones. Un formato con demasiados campos puede generar resistencia; un formato demasiado simple puede no aportar evidencia suficiente. Por ello, las plantillas se estructuran con campos esenciales.

Tabla 20. Instrumentos propuestos para levantar y controlar información

Instrumento	Dato principal	Momento de uso	Uso posterior
Registro de producción por lote	Unidades producidas, conformes y defectuosas.	Final de cada lote.	Cálculo de índice de defectos.
Ficha de dosificación	Cantidades de cemento, agregado, agua y aditivo.	Antes y durante mezcla.	Análisis de variabilidad de mezcla.

Checklist de vibrado	Cumplimiento de tiempo y secuencia.	Durante moldeo.	Control de causa prioritaria.
Control de curado y desmolde	Hora de inicio, método y autorización.	Durante curado y antes de desmolde.	Prevención de quiebres.
Registro económico	Costo estimado de materiales y reproceso.	Semanal.	Cálculo de costo de no calidad.
Auditoría 5S	Orden, limpieza, estándar y disciplina.	Mensual.	Seguimiento de condiciones del área.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.9 Criterios de calidad de datos

Para que los datos sean útiles, deben cumplir criterios mínimos de completitud, oportunidad, consistencia y trazabilidad. La completitud significa que los campos requeridos no deben quedar vacíos. La oportunidad indica que el registro se completa al momento de la actividad y no al final del día de memoria. La consistencia exige usar las mismas definiciones para todos los lotes. La trazabilidad permite relacionar un defecto con lote, fecha, responsable, mezcla y actividad.

El proyecto propone que cualquier dato faltante sea marcado como “N/A” únicamente cuando no aplique, acompañado de una observación. Esta regla evita que los formatos parezcan completos cuando realmente existen vacíos. También se recomienda que el supervisor revise los formatos al final de la semana y registre pendientes de cierre.

Tabla 21. Criterios para validar la calidad de los datos recolectados

Criterio	Pregunta de verificación	Acción correctiva
Completitud	¿Todos los campos obligatorios están llenos?	Solicitar corrección inmediata del formato.
Oportunidad	¿El dato se registró durante la actividad?	Reentrenar al responsable si el dato se llenó de memoria.
Consistencia	¿Se usó la misma definición de defecto?	Actualizar instructivo y socializar ejemplos.
Trazabilidad	¿El registro permite relacionar lote, causa y responsable?	Agregar código de lote o referencia faltante.
Verificabilidad	¿El dato puede revisarse con evidencia?	Solicitar fotografía, firma, conteo o soporte adicional.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.10 Consideraciones éticas y de confidencialidad

La información utilizada se maneja con fines académicos y de mejora operativa. Los datos económicos presentados se declaran referenciales, debido a que deben validarse con registros contables oficiales antes de ser utilizados para decisiones de inversión. Asimismo, el proyecto evita divulgar información sensible que no sea necesaria para la comprensión del proceso.

La metodología respeta la participación del personal operativo. El objetivo no es señalar culpables, sino identificar condiciones de sistema que generan defectos. Por esta razón, el diagnóstico se enfoca en métodos, controles, registros y condiciones de trabajo. El enfoque de mejora continua parte de que los errores pueden reducirse cuando el proceso está mejor diseñado.

CAPÍTULO IV:
ANÁLISIS DE CAUSAS RAÍZ

Este capítulo desarrolla el diagnóstico del proceso actual y constituye el puente principal hacia la propuesta de mejora. Su función no es únicamente listar causas, sino demostrar con orden cómo se identifican, agrupan, priorizan y validan los factores que explican el índice de productos defectuosos. Por ello, se inicia con la descripción detallada del proceso, luego se presenta la línea base referencial, se aplican herramientas de análisis causal y finalmente se sintetizan las causas raíz que deben ser atendidas en el Capítulo V.

La lógica del capítulo responde a una observación metodológica fundamental: antes de presentar un diagrama de Ishikawa, Pareto o FMEA, debe explicarse claramente el proceso. Si el proceso no se comprende, los diagramas se vuelven decorativos. En consecuencia, se describen las actividades desde la recepción de materias primas hasta el almacenamiento, señalando el riesgo de defecto en cada punto.

4.1 Descripción detallada de la situación actual

La situación actual de INMACO SRL se caracteriza por una producción basada en experiencia operativa y controles parcialmente documentados. El personal conoce las actividades necesarias para fabricar postes y alcantarillas; sin embargo, no siempre existe un procedimiento formal que indique cantidades, tiempos, criterios de aceptación, responsables y registros. Esta condición genera variabilidad entre lotes y dificulta determinar por qué un lote resulta conforme y otro presenta defectos.

El flujo productivo inicia con la recepción de materiales como cemento, agregados, agua, aditivo y acero. Posteriormente se preparan las mezclas, se llenan los moldes, se aplica vibrado, se inicia el curado, se realiza el desmolde, se traslada la pieza y se almacena para venta o despacho. Cada actividad se vincula con riesgos específicos. Por ejemplo, si la humedad del agregado varía y no se ajusta el agua, la mezcla puede cambiar; si el vibrado no se aplica de forma uniforme, pueden aparecer vacíos; si el desmolde se realiza antes del tiempo mínimo, la pieza puede fracturarse.

El problema de defectos cercano al 25 % se interpreta como un indicador de inestabilidad del proceso. La cifra no debe leerse únicamente como un dato de rechazo, sino como una señal de que el sistema de control no logra prevenir desviaciones. Por tanto, el análisis de causas debe considerar tanto factores técnicos del concreto como factores de gestión operativa.

Tabla 22. Descripción detallada de actividades del proceso actual

Actividad	Descripción	Riesgo principal	Evidencia requerida
Recepción de materiales	Ingreso de cemento, agregados, agua, acero y aditivo.	Humedad variable, material contaminado, ausencia de verificación.	Registro de recepción y observación visual.
Dosificación	Medición de cantidades para la mezcla.	Variación en proporciones, uso de aditivo sin control.	Ficha de dosificación por lote.
Mezclado	Integración de componentes hasta obtener mezcla homogénea.	Mezcla seca, exceso de agua, baja homogeneidad.	Tiempo de mezcla y revisión visual.
Moldeo	Colocación de mezcla en formaleta.	Llenado incompleto, segregación o mala distribución.	Checklist de llenado.
Vibrado	Consolidación de concreto dentro del molde.	Vacíos, segregación, vibrado insuficiente o excesivo.	Checklist de vibrado.
Curado	Conservación de condiciones de humedad y tiempo.	Pérdida de humedad, fisuras, resistencia insuficiente.	Control de curado.
Desmolde	Retiro de la pieza de la formaleta.	Quiebres por tiempo insuficiente o manipulación brusca.	Autorización de desmolde.
Transporte interno	Movimiento hacia zona de secado o almacenamiento.	Golpes, apoyos incorrectos, fractura de bordes.	Registro de traslado.
Almacenamiento	Ubicación final del producto hasta venta o despacho.	Apilamiento inadecuado, mezcla de lotes, daños por clima.	Control de ubicación por lote.

Fuente: Elaboración propia con base en observación del proceso, 2026.

4.2 Línea base referencial de producción, defectos y costos

La línea base se construye a partir del porcentaje de defectos reportado como problema principal. Para fines de análisis, se utiliza un lote referencial de 100 unidades, lo que permite explicar los cálculos de forma sencilla y replicable. Si la empresa produce un número diferente de unidades por lote, la misma fórmula puede aplicarse ajustando el total de producción.

El valor de 25 % se interpreta como condición actual. El rango meta de 5 % a 10 % se define como condición esperada posterior a la mejora. Esta meta no implica que el proceso

deba alcanzar cero defectos de inmediato; representa un salto significativo y realista para una empresa que inicia formalización de registros y controles.

Los datos económicos se presentan en colones costarricenses y se declaran referenciales. Para evitar dudas sobre origen de valores, cada cálculo se expresa mediante fórmula. La empresa deberá sustituir los montos referenciales por costos reales de materiales, mano de obra, maquinaria y precio de venta cuando consolide la herramienta en Excel.

Tabla 23. Línea base referencial del índice de defectos

Variable	Valor referencial	Interpretación
Unidades producidas por lote referencial	100 unidades	Base de cálculo para facilitar comprensión.
Defecto actual	25 unidades	Equivale a 25 % de defectos.
Defecto meta alta	10 unidades	Equivale a 10 % de defectos.
Defecto meta óptima	5 unidades	Equivale a 5 % de defectos.
Reducción mínima esperada	15 unidades por lote	Diferencia entre 25 % actual y 10 % meta.
Reducción máxima esperada	20 unidades por lote	Diferencia entre 25 % actual y 5 % meta.

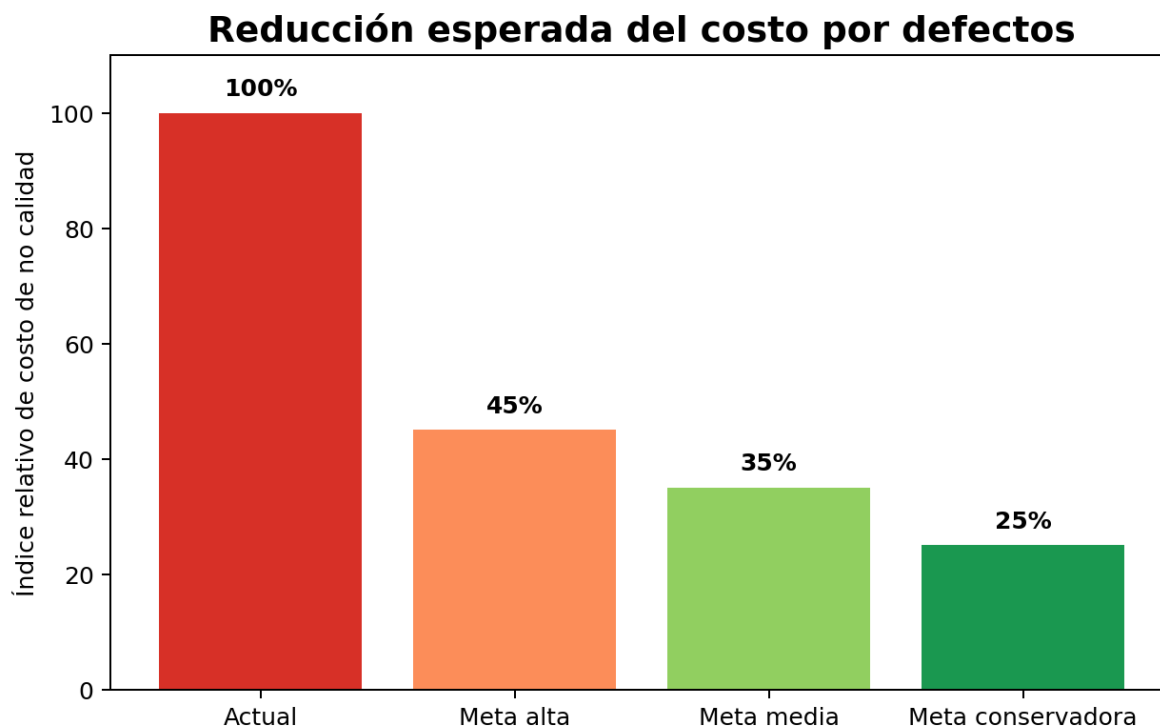
Fuente: Elaboración propia, 2026.

Tabla 24. Estimación económica referencial del costo de no calidad

Dato	Valor en colones	Explicación del origen
Costo unitario directo referencial	₡4 000	Monto ejemplo para material, mano de obra directa y recursos asociados. Debe validarse con datos contables.
Unidades defectuosas actuales	25	Lote referencial de 100 unidades con 25 % de defecto.
Costo no calidad actual	₡100 000	25 unidades × ₡4 000 por unidad.
Unidades defectuosas meta 10 %	10	Escenario conservador posterior a la mejora.
Costo no calidad meta 10 %	₡40 000	10 unidades × ₡4 000 por unidad.
Ahorro potencial conservador	₡60 000	Diferencia entre ₡100 000 y ₡40 000 por lote.

Fuente: Elaboración propia con valores referenciales para fines académicos, 2026.

Figura 10. Reducción esperada del costo por defectos



Fuente: Elaboración propia, 2026.

La figura muestra que la mejora económica depende de reducir el porcentaje de defectos. El escenario actual se representa como 100 % del costo de no calidad. Cada escenario posterior refleja una disminución relativa, que deberá convertirse en colones usando datos reales de costo unitario.

4.3 Análisis del proceso antes del Ishikawa

Antes de construir el diagrama de Ishikawa, se revisa cada actividad del proceso para identificar dónde se puede originar el defecto. Esta revisión permite evitar que el Ishikawa se convierta en una lista general de ideas sin relación con el flujo real. El análisis se desarrolla por actividad y por tipo de evidencia esperada.

En recepción de materiales, el riesgo principal es aceptar insumos sin verificar condiciones básicas. En dosificación, el riesgo es alterar la proporción de mezcla sin registro. En mezclado, el riesgo se asocia con homogeneidad insuficiente. En moldeo y vibrado, el riesgo aumenta porque se define la forma y consolidación de la pieza. En curado, desmolde y traslado, el producto puede dañarse incluso si las etapas anteriores fueron correctas.

Esta lectura confirma que el defecto final puede originarse en diferentes momentos. Por ello, el control debe ser por lote y debe seguir la secuencia del proceso. Si solo se inspecciona al final, la empresa descubre el defecto cuando ya consumió materiales y tiempo. La mejora propuesta busca anticipar el control.

Tabla 25. Riesgos por actividad antes del análisis Ishikawa

Actividad	Riesgo observado	Categoría 6M	Criticidad	Control requerido
Recepción	Material con humedad o contaminación.	Medio ambiente / Materiales	Media	Registro de recepción y condición visual.
Dosificación	Cantidades no medidas o aditivo sin control.	Método / Medición	Alta	Ficha de dosificación.
Mezclado	Homogeneidad insuficiente.	Método / Máquina	Media	Control de tiempo y apariencia.
Moldeo	Llenado irregular o formaleta sucia.	Método / Máquina	Alta	Checklist de molde.
Vibrado	Tiempo y secuencia variables.	Método / Mano de obra	Muy alta	Checklist de vibrado.
Curado	Pérdida de humedad o tiempo insuficiente.	Medio ambiente / Método	Alta	Control de curado.
Desmolde	Liberación prematura.	Método / Medición	Alta	Autorización de desmolde.
Traslado	Golpes o apoyos inadecuados.	Método / Medio ambiente	Media-alta	Registro de traslado.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

4.4 Lluvia de ideas y clasificación inicial de causas

La lluvia de ideas se utiliza para reunir posibles causas desde diferentes puntos de vista. En una empresa de producción, el personal operativo puede observar detalles que no aparecen en un registro; la administración puede percibir efectos económicos; y la supervisión puede identificar patrones de incumplimiento. Esta herramienta permite abrir el diagnóstico antes de aplicar técnicas de priorización.

Las ideas recopiladas se ordenan posteriormente mediante 6M. Esta clasificación evita mezclar causas de naturaleza distinta. Por ejemplo, no es lo mismo una causa de método que una causa de materiales. La clasificación permite identificar si el problema se concentra en prácticas de trabajo, ausencia de medición, equipos, condiciones del entorno o formación del personal.

Figura 11. Agrupación de ideas para análisis causal



Fuente: Elaboración propia, 2026.

La lluvia de ideas resume los temas que se repiten durante el diagnóstico: vibrado, aditivo, desmolde, formaletas, traslado y curado. Estas ideas sirven como insumo para el Ishikawa y no se consideran conclusiones definitivas hasta ser analizadas.

Tabla 26. Causas preliminares generadas mediante lluvia de ideas

Idea causal	Descripción	Categoría probable
Vibrado variable	El tiempo de vibrado cambia entre operarios o lotes.	Método / Mano de obra
Aditivo sin registro	No siempre se documenta la cantidad exacta aplicada.	Materiales / Medición
Desmolde apresurado	La pieza se mueve antes de cumplir condiciones mínimas.	Método
Formaleta con residuos	El molde puede afectar forma o acabado.	Máquina / Equipo
Traslado sin apoyos	La pieza se mueve con riesgo de golpe o flexión.	Método / Medio ambiente
Curado irregular	No existe control formal de humedad, tiempo y responsable.	Método / Medio ambiente
Costo no calculado	La pérdida se observa, pero no siempre se convierte en monto económico.	Medición

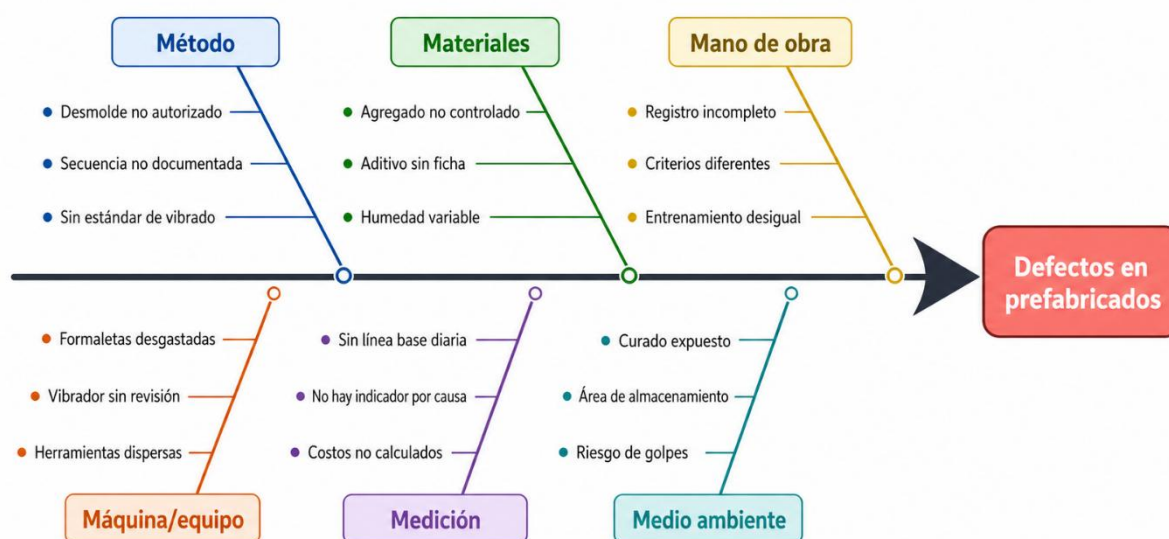
Fuente: Elaboración propia, 2026.

4.5 Diagrama de Ishikawa bajo enfoque 6M

El diagrama de Ishikawa permite organizar las causas potenciales del defecto en seis categorías: método, mano de obra, maquinaria o equipo, materiales, medición y medio ambiente. De acuerdo con la American Society for Quality (s. f.-b), el diagrama de causa y efecto facilita identificar y agrupar posibles causas de un problema. En este proyecto, el Ishikawa se usa para ordenar la información del proceso y no como sustituto de la validación posterior.

La categoría método concentra causas como falta de procedimiento de vibrado, ausencia de autorización de desmolde y transporte interno sin reglas. La categoría medición incluye falta de registros por lote, ausencia de costo de no calidad y no disponibilidad de indicadores. La categoría materiales se relaciona con dosificación de aditivo, humedad y variabilidad del agregado. La categoría equipo incluye formaletas, vibrador y apoyos de traslado.

Figura 12. Diagrama de Ishikawa 6M para defectos en prefabricados



Fuente: Elaboración propia, 2026.

El Ishikawa permite visualizar que el defecto no depende de una causa única. Las categorías con mayor peso inicial son método, medición y materiales, porque contienen factores directamente vinculados con vibrado, dosificación, curado y registros.

Tabla 27. Clasificación 6M de causas potenciales

Categoría	Causas identificadas	Prioridad inicial
Método	Vibrado sin tiempo estándar; desmolde sin autorización formal; traslado sin ruta definida.	Alta
Materiales	Humedad de agregado no documentada; aditivo sin ficha de dosificación; variación de agua.	Alta
Mano de obra	Criterios diferentes entre operarios; capacitación no evidenciada; registros incompletos.	Media-alta
Máquina/equipo	Formaletas con desgaste o residuos; vibrador sin revisión; apoyos de traslado insuficientes.	Media-alta
Medición	No existe línea base diaria robusta; defectos sin clasificación; costos no calculados.	Alta
Medio ambiente	Exposición climática, área de almacenamiento y condiciones de curado variables.	Media

Fuente: Elaboración propia, 2026.

4.6 Análisis de los 5 porqués

El análisis de los 5 porqués se aplica a las causas de mayor impacto. Su objetivo es profundizar desde el síntoma visible hasta la causa de sistema. Si el análisis se queda en “el operario se equivocó”, no se genera mejora real. La herramienta obliga a preguntar por qué ocurrió la equivocación, por qué el proceso permitió el error y por qué no existía un control preventivo. Para el proyecto se aplican 5 porqués a tres problemas críticos: vibrado inconsistente, dosificación variable y quiebres por desmolde o transporte. Estos casos se seleccionan por su relación directa con el defecto y porque tienen potencial de mejora mediante procedimientos, registros y controles visuales.

Tabla 28. Análisis de 5 porqués: vibrado inconsistente

Nivel	Pregunta	Respuesta / hallazgo
1	¿Por qué aparecen vacíos o baja consolidación?	Porque el vibrado no se aplica de forma uniforme en todos los lotes.
2	¿Por qué el vibrado no es uniforme?	Porque no existe un tiempo y secuencia documentados para cada tipo de pieza.
3	¿Por qué no existe tiempo y secuencia documentados?	Porque la actividad se ha ejecutado con experiencia práctica y criterio del operario.
4	¿Por qué se depende del criterio individual?	Porque no hay checklist de vibrado ni indicador de cumplimiento.
5	¿Por qué no hay checklist ni indicador?	Porque el proceso no cuenta con un sistema formal de control por lote.
Causa raíz	Conclusión	Ausencia de procedimiento estandarizado de vibrado y de registro obligatorio por lote.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Tabla 29. Análisis de 5 porqués: dosificación variable

Nivel	Pregunta	Respuesta / hallazgo
1	¿Por qué cambia la calidad de la mezcla?	Porque las cantidades de agua, aditivo o agregado pueden variar entre lotes.
2	¿Por qué varían las cantidades?	Porque no siempre se registran pesos, volúmenes o responsable de dosificación.
3	¿Por qué no se registran?	Porque no existe una ficha de dosificación simple y obligatoria.
4	¿Por qué no se ha usado una ficha?	Porque la operación se ha basado en práctica acumulada y no en trazabilidad documental.
5	¿Por qué se depende de la práctica acumulada?	Porque el control de calidad interno no está integrado al proceso de mezcla.
Causa raíz	Conclusión	Falta de control documentado de dosificación y ausencia de aprobación por lote.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Tabla 30. Análisis de 5 porqués: desmolde y transporte interno

Nivel	Pregunta	Respuesta / hallazgo
1	¿Por qué se quiebran piezas durante desmolde o traslado?	Porque algunas piezas se manipulan cuando aún son vulnerables o sin apoyo adecuado.
2	¿Por qué se manipulan en condición vulnerable?	Porque no siempre se verifica tiempo mínimo de curado y condición visual antes de moverlas.
3	¿Por qué no se verifica formalmente?	Porque no existe autorización documentada de desmolde ni checklist de traslado.
4	¿Por qué no existe autorización documentada?	Porque el proceso no tiene puntos de control entre curado, desmolde y transporte.
5	¿Por qué faltan puntos de control?	Porque el sistema de registros se concentra en producción general y no en variables críticas.
Causa raíz	Conclusión	Ausencia de control formal para liberación de desmolde y transporte interno seguro.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

4.7 Priorización mediante Pareto

El análisis de Pareto permite seleccionar causas prioritarias a partir de su frecuencia o impacto ponderado. La American Society for Quality (s. f.-c) presenta el diagrama de Pareto como una herramienta para identificar las pocas causas vitales dentro de un conjunto mayor. En el proyecto se aplica una ponderación referencial basada en observación, gravedad e impacto económico potencial.

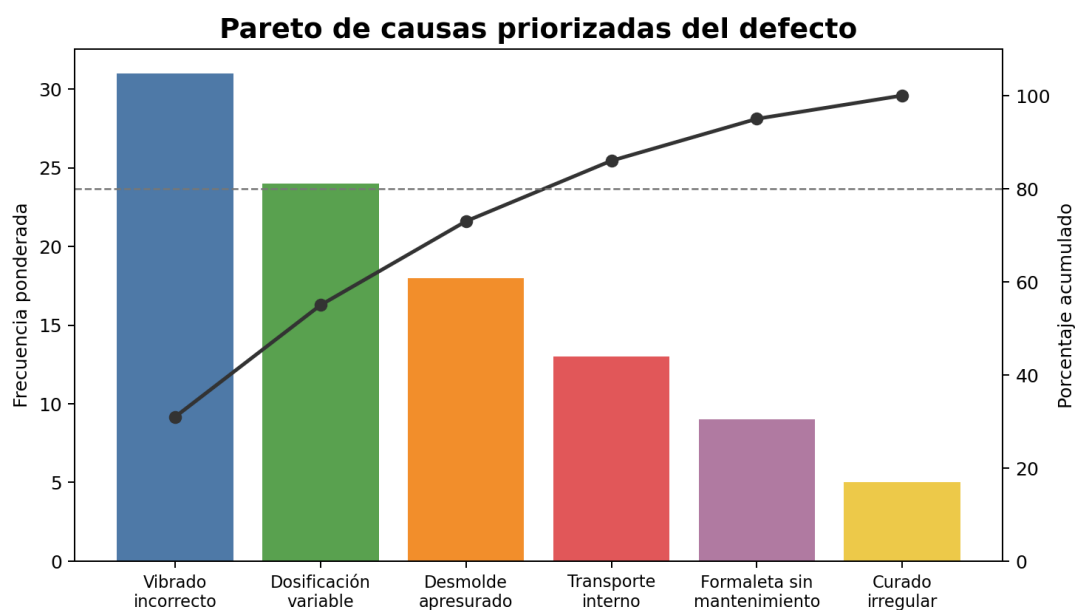
La priorización evita dispersar recursos. Si la empresa intenta corregir todos los factores al mismo tiempo, puede perder enfoque. En cambio, si inicia por vibrado, dosificación, desmolde y transporte, atiende las causas que concentran mayor relación con el defecto. Las causas restantes se incorporan en la fase de control y mejora continua.

Tabla 31. Datos utilizados para el Pareto de causas

Causa	Frecuencia ponderada	Participación	Acumulado
Vibrado incorrecto	31	31 %	31 %
Dosificación variable	24	24 %	55 %
Desmolde apresurado	18	18 %	73 %
Transporte interno	13	13 %	86 %
Formaleta sin mantenimiento	9	9 %	95 %
Curado irregular	5	5 %	100 %

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 13. Pareto de causas priorizadas del defecto



Fuente: Elaboración propia, 2026.

La figura indica que las cuatro primeras causas concentran cerca del 86 % del efecto ponderado. Por tanto, el Capítulo V debe proponer soluciones principalmente para vibrado, dosificación, desmolde y transporte interno.

4.8 FMEA simplificado del proceso

El FMEA se utiliza para evaluar riesgos del proceso considerando severidad, ocurrencia y detección. La severidad mide el impacto del fallo; la ocurrencia estima la frecuencia probable; y la detección valora la capacidad actual para identificar el fallo antes de que genere daño. La multiplicación de estos tres factores produce el número de prioridad de riesgo.

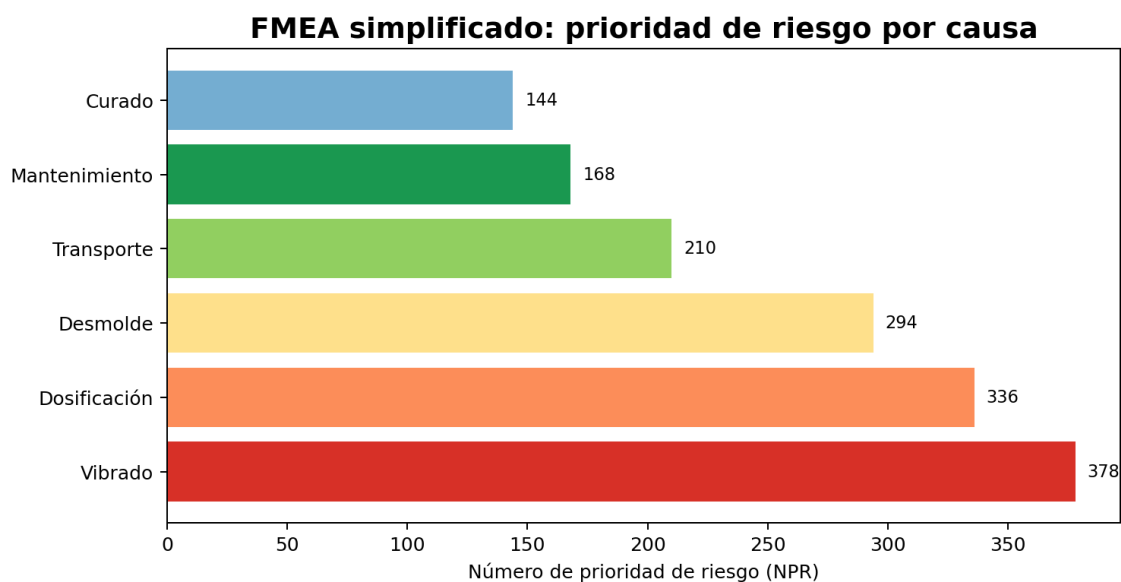
El FMEA simplificado permite comparar causas que no necesariamente tienen la misma frecuencia, pero sí diferente gravedad. Por ejemplo, un problema de vibrado puede no ocurrir en todos los lotes, pero cuando ocurre puede comprometer la integridad de la pieza. Por esta razón, se convierte en una prioridad de mejora.

Tabla 32. FMEA simplificado del proceso productivo

Modo de fallo	S	O	D	NPR	Acción recomendada
Vibrado inconsistente	9	7	6	378	Procedimiento, checklist e indicador.
Dosificación variable	8	7	6	336	Ficha de dosificación y aprobación.
Desmolde prematuro	7	7	6	294	Control de curado y autorización.
Transporte interno deficiente	7	6	5	210	Ruta, apoyos y checklist.
Formaletas sin mantenimiento	6	7	4	168	Plan preventivo.
Curado irregular	6	6	4	144	Registro de curado.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 14. FMEA simplificado: prioridad de riesgo por causa



Fuente: Elaboración propia, 2026.

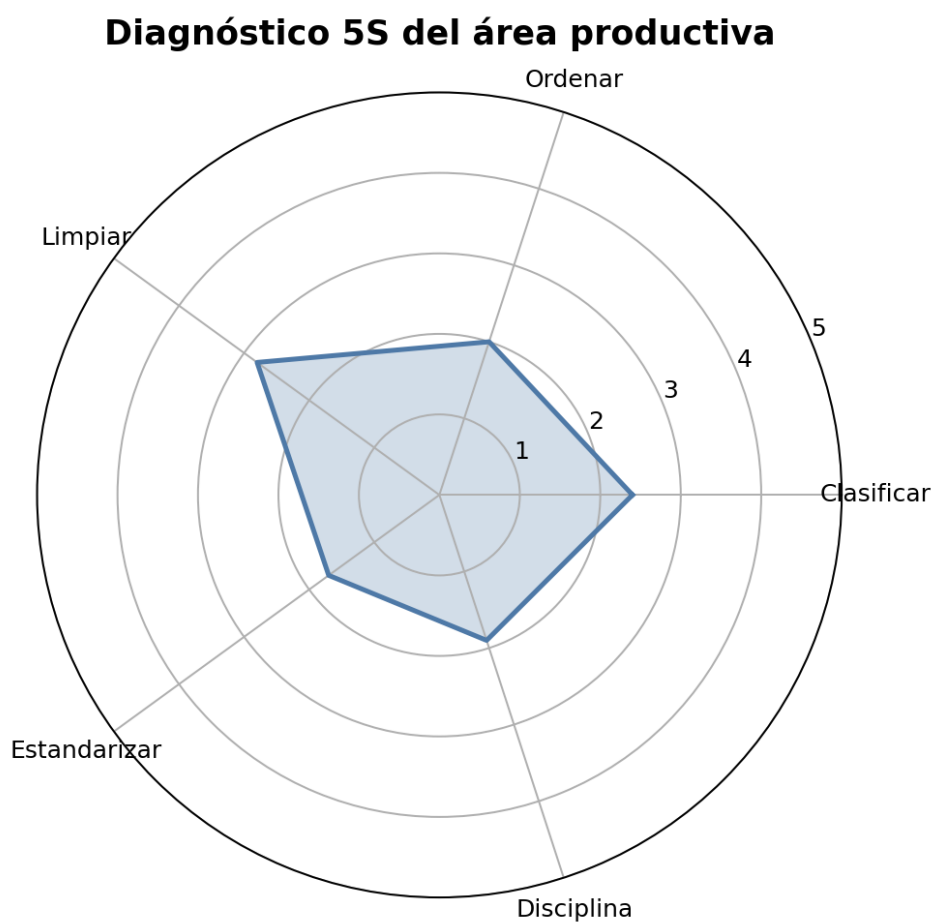
La figura refuerza que vibrado, dosificación y desmolde son los riesgos con mayor prioridad. Esto confirma que la propuesta debe incluir procedimientos específicos para esas actividades.

4.9 Diagnóstico 5S del área productiva

El diagnóstico 5S revisa las condiciones de orden, limpieza, estandarización y disciplina del área. En un proceso de prefabricados, el orden del espacio influye en la seguridad, en la manipulación de piezas y en la facilidad para encontrar herramientas, formaleas, apoyos y registros. Una planta desordenada aumenta la probabilidad de golpes, mezclas de lotes y retrasos.

La evaluación se presenta en una escala de 1 a 5 para cada dimensión. Los valores son referenciales y deben validarse con auditorías internas. No obstante, permiten mostrar que las áreas más débiles son ordenar, estandarizar y disciplina. Estas debilidades explican por qué se requieren controles visuales, zonas definidas, plantillas y seguimiento mensual.

Figura 15. Diagnóstico 5S del área productiva



Fuente: Elaboración propia, 2026.

El gráfico radar muestra que la estandarización y la disciplina son los componentes más débiles. Por ello, la propuesta incluye procedimientos, registros y auditoría 5S mensual.

Tabla 33. Lectura del diagnóstico 5S

Dimensión 5S	Puntaje referencial	Hallazgo	Acción propuesta
Clasificar	2.4/5	Existen materiales y herramientas que pueden permanecer sin criterio claro de uso.	Separar herramientas necesarias, revisar residuos y definir zonas.
Ordenar	2.0/5	Los apoyos, moldes y accesorios no siempre tienen ubicación fija.	Señalizar espacios, definir ruta de traslado y ordenar registros.

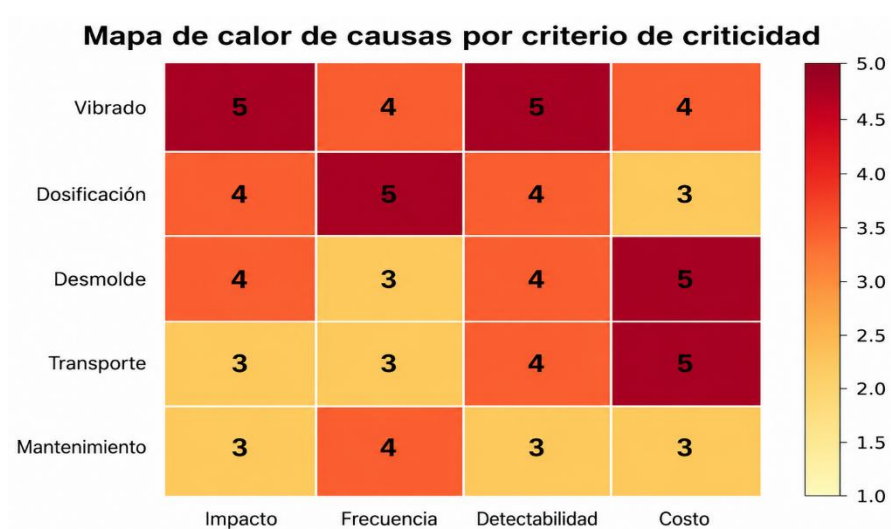
Limpiar	2.8/5	Se realizan limpiezas, pero no siempre con responsable y frecuencia definida.	Crear lista de limpieza por turno o jornada.
Estandarizar	1.7/5	Faltan procedimientos visuales y formatos obligatorios.	Aprobar procedimientos y checklist por actividad crítica.
Disciplina	1.9/5	El seguimiento depende de voluntad individual.	Implementar auditoría mensual 5S y revisión en reunión.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

4.10 Mapa de calor de criticidad

El mapa de calor permite comparar causas usando criterios de impacto, frecuencia, detectabilidad y costo. Esta herramienta complementa Pareto y FMEA, porque permite visualizar de forma simple qué causas requieren atención inmediata. La escala utilizada va de 1 a 5, donde 5 representa mayor criticidad. El resultado confirma que vibrado y dosificación son las causas de mayor prioridad, debido a su impacto sobre la calidad y su relación con costos. El desmolde también aparece como causa crítica, sobre todo porque la pieza puede dañarse después de haber consumido todos los recursos de fabricación. Transporte y mantenimiento se consideran relevantes, aunque pueden abordarse en una segunda etapa una vez estabilizadas las causas principales.

Figura 16. Mapa de calor de causas por criterio de criticidad



Fuente: Elaboración propia, 2026.

El mapa de calor facilita explicar al tutor y al lector por qué las soluciones del Capítulo V se concentran en vibrado, dosificación, desmolde y transporte interno. Las causas con mayor puntuación exigen controles preventivos.

4.11 Matriz causa-evidencia-efecto

La matriz causa-evidencia-efecto permite vincular cada causa con la evidencia encontrada y con el efecto que produce en el proceso. Este paso es clave para que el diagnóstico no quede como una lista de supuestos. Cada causa debe relacionarse con una observación, un riesgo y una consecuencia verificable.

La matriz también funciona como base para la tabla causa-solución del Capítulo V. Si una causa no tiene evidencia ni efecto claro, no debe convertirse en prioridad de inversión. Si una causa tiene evidencia, efecto económico y posibilidad de control, entonces debe recibir una acción de mejora.

Tabla 34. Matriz causa-evidencia-efecto

Causa crítica	Evidencia observada	Efecto en el proceso	Solución requerida
Vibrado inconsistente	No se observa tiempo estandarizado ni checklist obligatorio.	Vacíos, baja consolidación, fisuras y piezas débiles.	Procedimiento de vibrado y lista de verificación.
Dosificación variable	No siempre se registra cantidad exacta de aditivo o agua.	Variación de mezcla, baja homogeneidad o resistencia irregular.	Ficha de dosificación por lote.
Desmolde sin autorización formal	La liberación depende de criterio operativo y disponibilidad de espacio.	Quiebres, bordes dañados y pérdidas al final del proceso.	Control de curado y autorización de desmolde.
Transporte interno sin regla	Rutas, apoyos y manipulación no siempre están definidos.	Golpes, fracturas y daños por movimiento.	Procedimiento de transporte interno.
Formaletas sin plan preventivo	La revisión depende de necesidad visible.	Deformaciones, acabados deficientes y retrabajo.	Plan de mantenimiento preventivo.
Datos incompletos	No existe reporte integrado de defectos y costos.	No se prioriza con evidencia económica.	Tablero de indicadores y herramienta de cálculo.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

4.12 Análisis económico del defecto

El análisis económico del defecto convierte la problemática técnica en lenguaje administrativo. Una pieza defectuosa no solo representa material perdido; también consume tiempo de preparación, mano de obra, uso de equipo, espacio y oportunidad de venta. Por ello, el costo de no calidad debe calcularse por lote y revisarse de manera periódica.

Para evitar observaciones sobre datos no explicados, el cálculo utiliza fórmulas visibles. El costo unitario directo referencial se multiplica por las unidades defectuosas. Si la empresa desea mayor precisión, puede agregar costo de reproceso, costo de transporte, costo de inventario, costo de atención de reclamos y margen de contribución perdido. La herramienta propuesta en el Capítulo V permite incorporar estos campos.

Tabla 35. Explicación de fórmulas económicas referenciales

Concepto	Fórmula	Ejemplo en colones	Observación
Costo unitario directo	Material + mano de obra directa + uso básico de equipo	¢4 000	Debe sustituirse por costo real de la empresa.
Costo de defecto por lote	Unidades defectuosas \times costo unitario directo	$25 \times \text{¢}4\,000 = \text{¢}100\,000$	Escenario actual con 25 % de defectos.
Costo meta 10 %	10 unidades defectuosas \times ¢4 000	¢40 000	Escenario conservador.
Costo meta 5 %	5 unidades defectuosas \times ¢4 000	¢20 000	Escenario óptimo inicial.
Ahorro conservador	Costo actual - costo meta 10 %	¢60 000	Ahorro potencial por lote.
Ahorro óptimo	Costo actual - costo meta 5 %	¢80 000	Ahorro potencial si se alcanza 5 %.

Fuente: Elaboración propia con valores referenciales, 2026.

4.13 Validación final de causas raíz

La validación final integra Ishikawa, 5 porqués, Pareto, FMEA, 5S y análisis económico. La causa raíz no se define por intuición, sino por convergencia de herramientas. Si varias herramientas señalan la misma causa, su prioridad aumenta. En este caso, vibrado, dosificación, desmolde, transporte interno y medición económica aparecen de manera repetida.

Las causas raíz seleccionadas cumplen cuatro criterios: tienen relación directa con el defecto, pueden controlarse mediante procedimientos o registros, generan impacto económico y son viables de atender sin inversión mayor en maquinaria.

Esta última condición es importante porque la empresa necesita una propuesta aplicable, no una lista de mejoras costosas e inaccesibles.

El diagnóstico confirma que el Capítulo V debe centrarse en soluciones operativas concretas: procedimiento de vibrado, ficha de dosificación, control de curado, autorización de desmolde, reglas de transporte interno, mantenimiento preventivo, capacitación, tablero de indicadores y herramienta de cálculo económico.

Tabla 36. Validación final de causas raíz y acciones requeridas

Prioridad	Causa raíz validada	Justificación diagnóstica	Acción requerida en Capítulo V
1	Vibrado inconsistente	Alta prioridad por Pareto y FMEA.	Procedimiento, checklist e indicador.
2	Dosificación variable	Causa técnica ligada a mezcla y trazabilidad.	Ficha de dosificación y aprobación.
3	Desmolde sin control formal	Relacionado con quiebres después de consumir recursos.	Control de curado y autorización.
4	Transporte interno sin reglas	Genera daños en piezas frescas o vulnerables.	Ruta, apoyos y checklist.
5	Ausencia de medición económica	Impide valorar pérdida real y priorizar decisiones.	Herramienta de cálculo y tablero.
6	Débil estandarización 5S	Afecta orden, disciplina y consistencia del proceso.	Auditoría 5S y controles visuales.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

4.14 Síntesis diagnóstica del Capítulo IV

El Capítulo IV demuestra que el índice de defectos no se explica por una falla aislada, sino por un sistema de proceso con debilidades en método, medición, materiales y control operativo. La ausencia de procedimientos formalizados de vibrado, dosificación, curado, desmolde y transporte interno incrementa la variabilidad y dificulta aprender de los lotes producidos. La priorización confirma que las acciones del Capítulo V deben concentrarse en controlar las causas más críticas antes de ampliar la mejora a otros elementos. Esta lógica evita que la propuesta sea dispersa. Primero se estabilizan las variables que generan mayor defecto; luego se consolida el sistema de indicadores y se extiende la mejora a otros productos o áreas.

La síntesis final indica que la propuesta debe cumplir cinco condiciones: ser aplicable con recursos actuales, documentar actividades críticas, medir resultados, incluir responsables y calcular el impacto económico. Estos criterios se desarrollan en el Capítulo V mediante procedimientos, diagramas BPMN, plantillas, fichas de indicadores, plan de implementación y control.

CAPÍTULO V:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

El presente capítulo desarrolla la propuesta de mejora a partir de las causas raíz validadas en el Capítulo IV. La solución se diseña bajo una relación directa causa-solución: cada procedimiento, plantilla, indicador y acción de implementación responde a una causa identificada en el diagnóstico. De esta forma, la propuesta no se presenta como un conjunto de ideas generales, sino como una intervención estructurada para reducir defectos y mejorar rentabilidad.

La solución se organiza en componentes técnicos, operativos y económicos. Los componentes técnicos incluyen procedimientos de vibrado, dosificación, curado, desmolde, transporte y mantenimiento. Los componentes operativos incluyen capacitación, matriz RACI, cronograma, auditoría 5S e instructivos de llenado. El componente económico incluye la herramienta de cálculo del costo de no calidad, el análisis de ahorro y la evaluación de retorno.

5.1 Diseño general de la solución

La solución propuesta busca estabilizar las actividades críticas del proceso. Para ello, se plantea un sistema compuesto por procedimientos, controles, registros e indicadores. El propósito no es aumentar la carga administrativa de la empresa, sino construir evidencia mínima para que las decisiones puedan tomarse con datos. Cada formato se diseña de forma sencilla, con campos que pueden completarse durante la operación.

El diseño se basa en tres principios: prevención, trazabilidad y sostenibilidad. La prevención significa controlar variables antes de que generen defectos; la trazabilidad permite relacionar lote, actividad, responsable y causa; y la sostenibilidad busca que la mejora se mantenga mediante revisión semanal y auditoría mensual. Estos principios se alinean con el enfoque de calidad documentada de ISO 9001:2015 (International Organization for Standardization, 2015).

Tabla 37. Relación causa-solución de la propuesta

Causa diagnosticada	Solución propuesta	Evidencia de implementación
Vibrado inconsistente	Procedimiento estandarizado de vibrado.	Checklist de vibrado e indicador de cumplimiento.
Dosificación variable	Ficha de dosificación por lote.	Registro de cantidades, responsable y aprobación.
Desmolde sin control	Control de curado y autorización de desmolde.	Formato de hora, condición y firma.
Transporte interno deficiente	Procedimiento de traslado y almacenamiento.	Checklist de ruta, apoyos y daño visible.

Formaletas sin plan	Mantenimiento preventivo básico.	Registro mensual de limpieza, ajuste y condición.
Costos no medidos	Herramienta de cálculo económico.	Costo de no calidad, ahorro, ROI y payback.
Débil estandarización	Auditoría 5S y capacitación.	Puntaje mensual y acciones correctivas.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

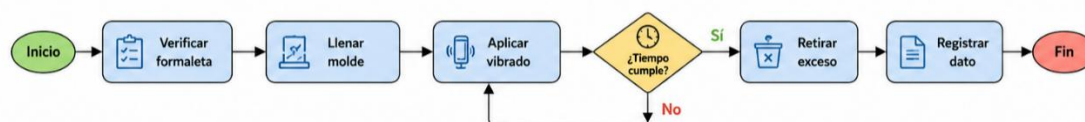
5.2 Procedimiento estandarizado de vibrado

El vibrado se selecciona como la primera acción de mejora debido a su alta prioridad en Pareto y FMEA. El procedimiento tiene como objetivo asegurar que el concreto colocado en el molde sea consolidado de forma uniforme, evitando vacíos y defectos asociados a baja compactación. El procedimiento debe colocarse en una versión visible para producción y utilizarse durante el entrenamiento del personal.

El estándar propuesto incluye preparación de formaleta, llenado controlado, aplicación de vibrado, revisión visual, retiro de exceso y registro del dato. El tiempo exacto debe validarse con la empresa según tipo de pieza, equipo y mezcla; por ello, el procedimiento se formula con rangos iniciales y exige que el supervisor ajuste el estándar cuando exista evidencia suficiente.

La guía ACI 309R respalda la importancia de la consolidación del concreto para evitar vacíos y obtener una mezcla más homogénea (ACI Committee 309, 2005). En la práctica, el procedimiento reduce dependencia del criterio individual y convierte el vibrado en una actividad verificable.

Figura 17. BPMN simplificado del procedimiento de vibrado



Fuente: Elaboración propia, 2026.

El diagrama BPMN simplificado muestra la secuencia mínima del procedimiento. Se utilizan eventos de inicio y fin, actividades de operación y una compuerta de decisión para verificar si el tiempo y la condición de vibrado cumplen el estándar.

Tabla 38. Procedimiento operativo de vibrado

Elemento	Descripción
Objetivo	Asegurar que el concreto colocado en la formaleta sea consolidado de manera uniforme.
Alcance	Aplica a postes y alcantarillas de concreto fabricadas por INMACO SRL.
Responsable	Operario asignado al moldeo y supervisor de planta.
Entrada requerida	Formaleta limpia, mezcla preparada, vibrador disponible y ficha de dosificación completa.
Paso 1	Verificar que la formaleta esté limpia, armada y ubicada de forma estable.
Paso 2	Llenar el molde de manera gradual, evitando acumulaciones irregulares de mezcla.
Paso 3	Aplicar vibrado siguiendo secuencia definida y evitando contacto inadecuado con la armadura.
Paso 4	Revisar visualmente superficie y bordes para detectar vacíos o segregación visible.
Paso 5	Registrar cumplimiento del vibrado en el checklist por lote.
Salida esperada	Pieza moldeada con mezcla consolidada y registro completo.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Tabla 39. Ficha de indicador: cumplimiento de vibrado

Campo	Definición
Nombre del indicador	Cumplimiento de vibrado estándar.
Fórmula	$(\text{Puntos cumplidos del checklist} / \text{puntos requeridos}) \times 100$.
Unidad	Porcentaje.
Meta	Igual o superior a 95 %.
Frecuencia	Por lote y consolidado semanal.
Responsable	Operario registra; supervisor valida.
Fuente	Checklist de vibrado.
Acción si no cumple	Detener liberación del lote, revisar causa y reentrenar si corresponde.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

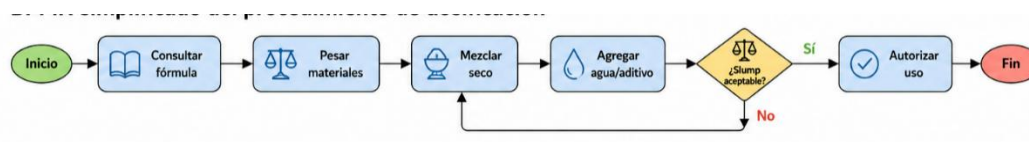
5.3 Procedimiento de dosificación y mezcla de aditivos

La dosificación se convierte en una acción prioritaria porque la mezcla define gran parte del comportamiento posterior de la pieza. Una dosificación variable puede alterar trabajabilidad, fraguado y resistencia. Por ello, se propone una ficha de dosificación que debe completarse antes y durante la preparación de cada lote.

El procedimiento no pretende sustituir diseños formales de mezcla, pero sí establecer trazabilidad mínima. Cada lote debe indicar cantidad de cemento, agregado, agua, aditivo, hora de preparación, responsable y observaciones. Cuando se realice un ajuste por humedad, disponibilidad de material o condición climática, el cambio debe quedar registrado.

El control de dosificación también permite comparar lotes. Si un lote resulta defectuoso, la empresa podrá revisar si tuvo más agua, menos aditivo, cambio de agregado o alguna observación. Sin esta información, la causa queda en el terreno de la suposición.

Figura 18. BPMN simplificado del procedimiento de dosificación



Fuente: Elaboración propia, 2026.

El diagrama muestra que la dosificación debe iniciar con consulta de fórmula, medición de materiales, mezcla y verificación básica. La decisión sobre condición aceptable obliga a revisar antes de autorizar el uso de la mezcla.

Tabla 40. Procedimiento resumido de dosificación

Elemento	Descripción
Objetivo	Controlar las cantidades de materiales y aditivo utilizadas por lote.
Alcance	Aplica a toda mezcla destinada a postes y alcantarillas.
Responsable	Operario de mezcla y supervisor de planta.
Paso 1	Consultar fórmula o referencia de mezcla autorizada.
Paso 2	Registrar cantidades de cemento, agregado, agua y aditivo.
Paso 3	Verificar que el aditivo se dosifique con medida definida y no por estimación visual.
Paso 4	Registrar hora de mezcla, responsable y cualquier ajuste realizado.

Paso 5	Autorizar el uso de la mezcla si la condición visual y trabajabilidad son aceptables.
Salida esperada	Ficha de dosificación completa y mezcla trazable por lote.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Tabla 41. Ficha de indicador: dosificación correcta

Campo	Definición
Nombre del indicador	Dosificación correcta por lote.
Fórmula	(Lotes con ficha completa y cantidades aprobadas / lotes producidos) \times 100.
Unidad	Porcentaje.
Meta	Igual o superior a 98 %.
Frecuencia	Por lote y semanal.
Responsable	Operario de mezcla y supervisor.
Fuente	Ficha de dosificación de mezcla.
Acción si no cumple	Retener lote para revisión y registrar desviación.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

5.4 Control de curado, fraguado y desmolde

El control de curado y desmolde busca prevenir quiebres y fisuras generadas después de la fabricación inicial. La pieza puede verse aparentemente formada, pero aún no tener la resistencia suficiente para ser manipulada. Por eso, el desmolde debe requerir una verificación mínima y una autorización documentada.

La guía ACI 308R justifica la importancia del curado para conservar condiciones favorables de humedad y desarrollo de resistencia (ACI Committee 308, 2016). En INMACO SRL, la propuesta se traduce en un formato simple que registre hora de inicio de curado, método aplicado, condición de la pieza, hora de desmolde y firma del responsable.

La autorización de desmolde no debe entenderse como burocracia, sino como un punto de control. Cuando una pieza se quiebra en esta etapa, la empresa pierde todos los recursos invertidos desde recepción hasta moldeo. Por tanto, prevenir el quiebre en desmolde tiene alto valor económico.

Figura 19. BPMN simplificado del procedimiento de curado y desmolde



Fuente: Elaboración propia, 2026.

El diagrama muestra que la pieza no debe pasar a desmolde sin revisar tiempo mínimo, condición visual y aprobación. Esta decisión reduce el riesgo de mover piezas vulnerables.

Tabla 42. Criterios de control para curado y desmolde

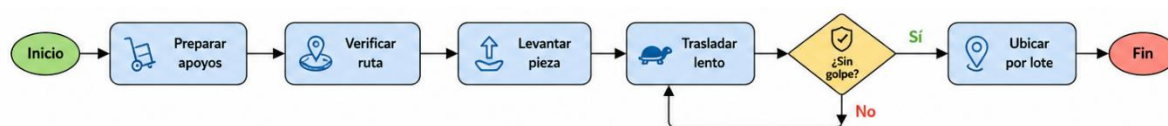
Criterio	Aplicación	Razón técnica
Inicio de curado	Registrar fecha, hora y responsable.	Garantiza trazabilidad del tiempo mínimo.
Método de curado	Indicar riego, cobertura u otro método aplicado.	Evita pérdida de humedad no controlada.
Revisión visual	Verificar fisuras, bordes y estabilidad.	Detecta defectos antes de mover la pieza.
Autorización de desmolde	Firmar liberación por supervisor o responsable.	Impide desmolde por urgencia sin control.
Registro de daños	Anotar daño si aparece durante desmolde.	Alimenta Pareto y FMEA.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

5.5 Procedimiento de transporte interno y almacenamiento

El transporte interno es una etapa crítica porque el producto puede dañarse aun después de haber sido correctamente mezclado y vibrado. Las piezas de concreto pueden ser pesadas y vulnerables si no se apoyan de manera adecuada. Por ello, el procedimiento define ruta, apoyos, velocidad de traslado, revisión visual y ubicación por lote.

La propuesta también incluye orden de almacenamiento. Las piezas deben ubicarse de forma que se eviten golpes, mezcla de lotes, apoyos irregulares y dificultades para inspeccionar. El almacenamiento ordenado mejora la trazabilidad y facilita identificar qué lote se entregó a cada cliente.

Figura 20. BPMN simplificado del procedimiento de transporte interno

Fuente: Elaboración propia, 2026.

El diagrama permite visualizar que el traslado debe iniciar con preparación de apoyos y ruta, y terminar con ubicación por lote. La compuerta de decisión revisa si hubo golpe o daño visible.

Tabla 43. Reglas operativas para transporte interno y almacenamiento

Regla	Aplicación	Beneficio esperado
Ruta despejada	Antes de mover una pieza se debe revisar que no existan obstáculos.	Reduce golpes, atrasos y maniobras improvisadas.
Apoyos definidos	Usar apoyos adecuados según longitud y peso de la pieza.	Evita flexión, quiebre o daño de bordes.
Manipulación coordinada	Asignar responsables y señalar el movimiento.	Reduce movimientos bruscos y accidentes.
Inspección posterior	Revisar daño visible después del traslado.	Permite clasificar causa si aparece defecto.
Ubicación por lote	Separar piezas por fecha o código de producción.	Facilita trazabilidad y despacho.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

5.6 Mantenimiento preventivo de formaletas y equipo

Las formaletas, vibradores, apoyos y herramientas deben mantenerse en condición adecuada. Una formaleta con residuos o deformación puede afectar la geometría y acabado de la pieza. Un vibrador sin revisión puede fallar durante el moldeo o generar una consolidación irregular. Por ello, el mantenimiento preventivo se propone como una acción de soporte para la calidad.

El plan de mantenimiento básico no implica necesariamente inversión alta. Puede iniciar con inspección visual, limpieza posterior al uso, revisión de pernos, revisión de superficies de contacto, verificación del vibrador y control de apoyos. Lo importante es que la revisión quede documentada y tenga responsable.

Tabla 44. Plan básico de mantenimiento preventivo

Elemento	Actividad	Frecuencia	Responsable
Formaletas	Limpieza, revisión de deformación, residuos y ajuste.	Semanal y antes de lote crítico.	Producción / mantenimiento.
Vibrador	Revisión de funcionamiento, cable, ruido anormal y condición general.	Semanal.	Mantenimiento.
Apoyos de traslado	Verificar estabilidad, altura y condición física.	Semanal.	Supervisor.
Herramientas	Orden, limpieza y ubicación fija.	Diaria.	Operarios.
Área de curado	Revisar acceso, humedad, protección y señalización.	Semanal.	Supervisor.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

5.7 Plan de capacitación y competencias

La capacitación es necesaria para asegurar que los procedimientos no queden únicamente en el documento. El personal debe conocer por qué se implementan los cambios, qué datos debe registrar, cómo completar cada plantilla y qué ocurre cuando un indicador no cumple la meta. La capacitación también debe explicar que el objetivo no es culpar a una persona, sino mejorar el proceso.

El plan se divide en sesiones cortas y prácticas. Cada sesión debe incluir demostración en planta, revisión del formato correspondiente, ejemplo de llenado y firma de asistencia. La capacitación debe repetirse cuando ingrese personal nuevo o cuando los indicadores muestren incumplimientos.

Tabla 45. Plan de capacitación propuesto

Sesión	Tema	Duración sugerida	Participantes
Sesión 1	Introducción a DMAIC, defecto y costo de no calidad.	1 hora	Administración y producción.
Sesión 2	Procedimiento de dosificación y ficha de mezcla.	1 hora	Operarios de mezcla.
Sesión 3	Procedimiento de vibrado y checklist.	1 hora	Operarios de moldeo.

Sesión 4	Curado, desmolde y transporte interno.	1 hora	Operarios y supervisor.
Sesión 5	Indicadores, tablero y auditoría 5S.	1 hora	Supervisor y administración.

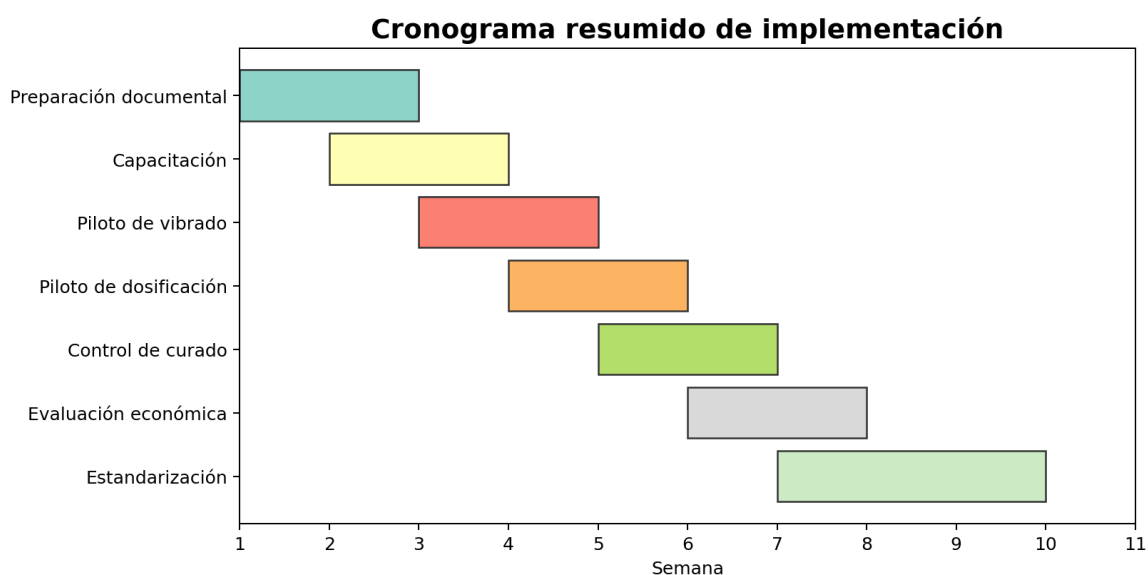
Fuente: Elaboración propia, 2026.

5.8 Plan de implementación

La implementación se plantea por fases para evitar una transición brusca. Primero se prepara la documentación; luego se capacita al personal; después se ejecuta un piloto en lotes seleccionados; posteriormente se evalúan resultados y se ajustan procedimientos; finalmente se institucionaliza la mejora mediante indicadores y auditorías.

La implementación piloto permite probar formatos, tiempos de llenado, claridad de instrucciones y utilidad de los indicadores. Si un formato resulta difícil de completar, debe ajustarse antes de hacerlo obligatorio. Esta lógica reduce resistencia y mejora la adopción del cambio.

Figura 21. Cronograma resumido de implementación



Fuente: Elaboración propia, 2026.

El cronograma presenta una ruta de implementación por semanas. La empresa puede ajustar las fechas según volumen de trabajo, pero se recomienda no saltar la fase de piloto.

Tabla 46. Fases de implementación de la mejora

Fase	Nombre	Actividad central	Periodo sugerido
Fase 1	Preparación documental	Aprobar procedimientos, plantillas y responsables.	Semana 1-
Fase 2	Capacitación	Explicar objetivos, formatos e indicadores.	Semana 2-3
Fase 3	Piloto	Aplicar controles en lotes seleccionados.	Semana 3-6
Fase 4	Evaluación	Comparar defectos, registros y costo de no calidad.	Semana 6-8
Fase 5	Ajuste	Corregir formatos y procedimientos según resultados.	Semana 8-9
Fase 6	Estandarización	Adoptar la mejora como práctica regular.	Semana 10 en adelante

Fuente: Elaboración propia, 2026.

5.9 Matriz RACI de responsabilidades

La matriz RACI define quién ejecuta, quién aprueba, quién debe ser consultado y quién debe mantenerse informado. Esta herramienta evita ambigüedad, especialmente en actividades que involucran producción, supervisión y administración. Sin responsabilidades claras, los formatos pueden quedar incompletos y los indicadores pueden perder continuidad.

Tabla 47. Matriz RACI para implementación y sostenibilidad

Actividad	Responsable	Aprobador	Consultado	Informado
Procedimiento de vibrado	Operario	Supervisor	Administración	Producción
Ficha de dosificación	Operario de mezcla	Supervisor	Administración	Producción
Control de curado	Operario	Supervisor	Mantenimiento	Administración
Transporte interno	Operario	Supervisor	Mantenimiento	Administración
Mantenimiento preventivo	Mantenimiento	Administración	Producción	Supervisor
Tablero de indicadores	Supervisor	Administración	Producción	Todo el equipo
Auditoría 5S	Supervisor	Administración	Operarios	Producción

Fuente: Elaboración propia, 2026.

5.10 Evaluación económica y herramienta de cálculo

La evaluación económica se formula para responder una observación clave: los datos deben explicar de dónde salen y en qué moneda se expresan. Por ello, todos los valores se presentan en colones costarricenses y se aclara que son referenciales. La empresa debe sustituirlos por valores reales de facturas, planillas y registros de consumo.

La herramienta de cálculo propuesta puede elaborarse en Excel con campos simples: unidades producidas, unidades defectuosas, costo unitario directo, costo de reproceso, costo total de no calidad, inversión de mejora, ahorro estimado, ROI y payback. La tabla siguiente muestra la lógica mínima que debe contener.

Tabla 48. Estructura de herramienta de cálculo económico

Campo	Fórmula o fuente	Ejemplo en colones	Interpretación
Unidades producidas	Dato digitado por lote	100	Cantidad total fabricada.
Unidades defectuosas	Dato digitado por lote	25	Cantidad no conforme.
Porcentaje de defectos	Defectuosas / producidas \times 100	25 %	Indicador principal.
Costo unitario directo	Dato contable referencial	₡4 000	Material, mano de obra y equipo básico.
Costo de no calidad	Defectuosas \times costo unitario	₡100 000	Pérdida directa estimada por lote.
Inversión inicial	Suma de capacitación, impresión, señalización y control	₡120 000	Debe respaldarse con cotizaciones.
Ahorro por lote	Costo actual - costo meta	₡60 000	Escenario conservador.
Payback	Inversión / ahorro por lote	2 lotes	Recuperación estimada.

Fuente: Elaboración propia con valores referenciales, 2026.

Tabla 49. Escenarios económicos de reducción de defectos

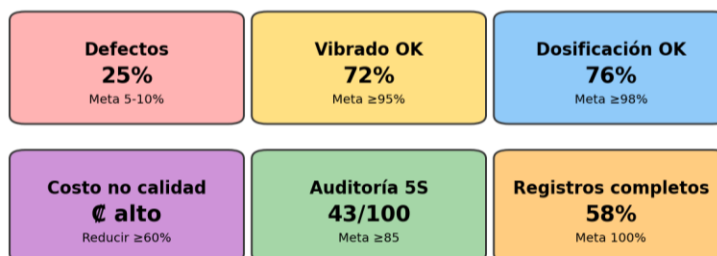
Escenario	Supuesto	Costo / ahorro en colones	Lectura
Escenario actual	25 % defectos	₡100 000	Base de comparación.
Escenario meta conservador	10 % defectos	₡40 000	Ahorro de ₡60 000 por lote.
Escenario meta óptimo	5 % defectos	₡20 000	Ahorro de ₡80 000 por lote.
Inversión propuesta	Capacitación, impresiones, señalización, tablero.	₡120 000	Monto referencial inicial.
Payback conservador	₡120 000 / ₡60 000	2 lotes	Recuperación rápida si se cumple meta.
ROI conservador	$(₡60 000 / ₡120 000) \times 100$	50 % por lote	Retorno estimado con ahorro por lote.

Fuente: Elaboración propia con valores referenciales, 2026.

5.11 Sistema de monitoreo y control

El sistema de monitoreo transforma la propuesta en un proceso permanente. El tablero de control debe actualizarse semanalmente e incluir pocos indicadores, de fácil interpretación. Si un indicador se aleja de la meta, se debe registrar una acción correctiva, responsable y fecha de cierre. La revisión no debe esperar al final del mes. En un proceso productivo, un defecto repetido durante varias semanas puede generar pérdidas importantes. Por ello, se recomienda una reunión breve semanal para revisar defectos, causas, costo de no calidad y cumplimiento de formatos.

Figura 22. Tablero de control propuesto para seguimiento semanal



Fuente: Elaboración propia, 2026.

El tablero resume los indicadores esenciales que deben revisarse en producción. Su objetivo es convertir los datos de los formatos en información visible para la toma de decisiones.

Tabla 50. Indicadores propuestos para el control del proceso

Indicador	Meta	Frecuencia	Responsable	Acción de reacción
Índice de defectos	5 % a 10 %	Semanal	Supervisor	Analizar causa principal si supera meta.
Cumplimiento de vibrado	≥ 95 %	Por lote	Operario / supervisor	Reentrenar y revisar checklist.
Dosificación correcta	≥ 98 %	Por lote	Operario mezcla	Retener lote si falta registro.
Desmolde autorizado	100 %	Por lote	Supervisor	No mover piezas sin autorización.
Costo de no calidad	Tendencia descendente	Semanal	Administración	Revisar causas con mayor costo.
Auditoría 5S	≥ 85/100	Mensual	Supervisor	Ejecutar plan de orden y limpieza.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Figura 23. Ciclo de sostenibilidad de la mejora



Fuente: Elaboración propia, 2026.

El ciclo de control muestra que la mejora requiere registrar, revisar, analizar, corregir y estandarizar. Sin este ciclo, la propuesta podría aplicarse una vez y luego perder continuidad.

5.12 Gestión de riesgos de la implementación

Toda propuesta de mejora enfrenta riesgos. En este caso, los principales riesgos son resistencia al llenado de formatos, falta de tiempo para capacitación, uso incompleto de indicadores y abandono del seguimiento. Estos riesgos se pueden reducir si los formatos son sencillos, si la administración respalda la mejora y si el supervisor revisa datos de forma constante.

La gestión de riesgos no debe entenderse como un requisito adicional, sino como una forma de proteger la implementación. Cuando se identifica un riesgo antes de iniciar, se puede definir una acción preventiva. Por ejemplo, si existe riesgo de que el personal no complete formatos, la acción preventiva es capacitar con ejemplos y revisar los primeros lotes junto con el supervisor.

Tabla 51. Matriz de riesgos de implementación

Riesgo	Impacto	Probabilidad	Responsable
Formatos incompletos	Alta	Media	Supervisor
Resistencia del personal	Media	Media	Administración
Falta de tiempo para registros	Media	Alta	Producción
Datos económicos no actualizados	Media	Media	Administración
No seguimiento de indicadores	Alta	Media	Supervisor
Ausencia de recursos para señalización	Baja	Media	Administración

Fuente: Elaboración propia, 2026.

5.13 Resultados esperados

Los resultados esperados se agrupan en reducción de defectos, mejora de trazabilidad, disminución del costo de no calidad, aumento de cumplimiento de procedimientos y fortalecimiento de disciplina operativa. No todos los resultados se observarán al mismo tiempo; algunos dependen de la constancia del registro y de la madurez del sistema de control.

El resultado principal esperado es reducir defectos hacia un rango de 5 % a 10 %. Sin embargo, también se espera que la empresa logre explicar por qué ocurre un defecto, cuánto

cuesta, qué lote fue afectado y qué acción correctiva se aplicó. Esta capacidad de explicación es tan importante como la reducción misma, porque permite sostener la mejora.

Tabla 52. Síntesis de beneficios esperados de la propuesta

Beneficio	Descripción	Evidencia de medición
Reducción de defectos	Disminución desde 25 % hacia 5 % a 10 %.	Índice de defectos por lote.
Mayor trazabilidad	Relación entre lote, causa, responsable y acción.	Registros completos.
Menor costo de no calidad	Ahorro por reducción de piezas defectuosas.	Herramienta de cálculo económico.
Estandarización	Procedimientos de vibrado, dosificación, curado y transporte.	Auditoría de cumplimiento.
Mejor orden operativo	Aplicación de 5S y controles visuales.	Puntaje de auditoría 5S.
Aprendizaje organizacional	Uso de datos para decisiones.	Reunión semanal de indicadores.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

La propuesta se considera técnicamente coherente porque responde directamente a las causas raíz diagnosticadas. El vibrado inconsistente se atiende con procedimiento y checklist; la dosificación variable se atiende con ficha de mezcla; el desmolde sin control se atiende con autorización; el transporte interno se atiende con reglas de manipulación; y la falta de medición económica se atiende con herramienta de cálculo.

La implementación es viable porque no depende de inversión mayor en maquinaria. Requiere disciplina, capacitación, impresión de formatos, señalización básica, revisión semanal y compromiso administrativo. Este tipo de solución es adecuada para una empresa que necesita mejorar rentabilidad sin asumir inicialmente costos elevados.

El capítulo también cumple con la necesidad de que cada procedimiento tenga diagrama BPMN, ficha de indicador, plantilla o instructivo. Los anexos complementan esta propuesta con formatos listos para ser utilizados o adaptados por la empresa.

CAPÍTULO VI:
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente capítulo expone el cierre técnico del proyecto desarrollado en INMACO SRL, orientado a la optimización del proceso productivo de postes y alcantarillas de concreto mediante la metodología DMAIC. Las conclusiones se formulan a partir de la relación entre los objetivos planteados, la línea base del problema, el diagnóstico causal, el diseño de la propuesta de mejora y los mecanismos de seguimiento definidos para sostener los resultados en el tiempo.

De acuerdo con la Guía 02 de Proyectos de Graduación de la Universidad Hispanoamericana, este capítulo debe identificar los principales resultados, productos, efectos e impactos esperados, así como los aportes del proyecto a la organización, los beneficiarios directos e indirectos, el cumplimiento de los objetivos y las implicaciones económicas de la propuesta. Por esa razón, el capítulo no se limita a repetir el diagnóstico desarrollado previamente, sino que sintetiza los hallazgos más relevantes y los convierte en conclusiones finales y recomendaciones aplicables para la empresa.

6.1 Conclusiones

6.1.1 Conclusión general

Se concluye que el problema de productos defectuosos en INMACO SRL no se origina en una causa única ni en una falla aislada del personal operativo, sino en una combinación de debilidades del sistema productivo. El análisis permitió determinar que la generación de defectos en postes y alcantarillas de concreto está relacionada con la falta de estandarización en el método de trabajo, la ausencia de registros uniformes por lote, la variabilidad en la dosificación de materiales, el control insuficiente del vibrado, las debilidades en el curado y desmolde, y la manipulación inadecuada durante el transporte interno.

Esta conclusión resulta relevante porque cambia la forma de comprender el problema. Antes del proyecto, el defecto podía interpretarse como un resultado normal del proceso o como consecuencia de errores individuales durante la fabricación. Sin embargo, el desarrollo del diagnóstico permitió demostrar que el índice de productos defectuosos responde a condiciones repetitivas del proceso que pueden ser intervenidas mediante herramientas de ingeniería industrial. Por tanto, la propuesta no se dirige únicamente a corregir errores visibles, sino a fortalecer el sistema de trabajo para prevenir que los defectos se generen desde las etapas iniciales del proceso.

La metodología DMAIC fue adecuada para conducir el proyecto, ya que permitió ordenar la investigación desde la definición del problema hasta la construcción de mecanismos de control. La fase Definir permitió delimitar el problema de calidad y desperdicio; la fase Medir permitió dimensionar la línea base de defectos; la fase Analizar permitió identificar las causas raíz; la fase Mejorar permitió diseñar procedimientos, registros y controles; y la fase Controlar permitió establecer indicadores y rutinas de seguimiento. Esta secuencia evitó proponer soluciones sin respaldo y permitió que el Capítulo V respondiera directamente a las causas diagnosticadas en el Capítulo IV.

En términos generales, el proyecto aporta a INMACO SRL una ruta técnica para reducir defectos, mejorar la trazabilidad del proceso, disminuir desperdicios y fortalecer la toma de decisiones operativas. También permite que la empresa pase de una gestión basada principalmente en experiencia práctica a una gestión apoyada en datos, registros, indicadores, procedimientos y revisión periódica. Este cambio representa un avance importante para una empresa que busca mejorar su rentabilidad, su calidad y su competitividad dentro del sector de construcción y prefabricados de concreto.

6.1.2 Conclusiones según el cumplimiento de los objetivos

En relación con el objetivo orientado a identificar y definir las principales causas de los defectos en los productos de concreto, se concluye que este fue cumplido mediante la caracterización del proceso productivo, la observación directa, el árbol del problema, el SIPOC, el flujo actual con puntos críticos de control, la lluvia de ideas y la clasificación de causas mediante el enfoque 6M. Estas herramientas permitieron ordenar el problema y comprender que las etapas de mayor riesgo son la dosificación, el vibrado, el curado, el desmolde y el transporte interno.

La identificación de estas etapas permitió demostrar que el proceso productivo presenta puntos críticos antes, durante y después del moldeo de las piezas. La dosificación afecta la homogeneidad y resistencia de la mezcla; el vibrado incide en la compactación y eliminación de vacíos; el curado determina el desarrollo de resistencia; el desmolde puede generar quiebres si se realiza antes de tiempo o sin verificación; y el transporte interno puede dañar piezas que ya habían sido fabricadas correctamente. Por tanto, el defecto final no depende únicamente de la inspección visual al cierre del proceso, sino del control preventivo de cada una de estas fases.

Respecto al objetivo de medir el impacto de las fallas estructurales, errores en el vibrado, mala dosificación de aditivos y niveles de desperdicio, se concluye que el proyecto logró establecer una línea base referencial para dimensionar la magnitud del problema. El índice aproximado de 25 % de productos defectuosos permitió visualizar que el desperdicio no es un evento ocasional, sino una condición relevante que afecta el desempeño productivo. Esta medición fue fundamental porque permitió traducir el problema en términos de porcentaje de defectos, unidades afectadas, reproceso, descarte y costo de no calidad.

La medición del impacto también permitió evidenciar que la empresa requiere fortalecer su sistema de registros. Sin registros completos por lote, el análisis de defectos se vuelve limitado, ya que no siempre es posible vincular una falla con la condición específica de mezcla, vibrado, curado, desmolde o traslado. Por esa razón, una de las conclusiones más importantes del proyecto es que el control de calidad debe iniciar desde la preparación del lote y no únicamente en la revisión final del producto terminado. La información debe generarse en el momento en que ocurre la operación, porque solo así puede analizarse posteriormente con precisión.

En cuanto al objetivo de analizar los procesos críticos mediante diagramas causa-efecto y mapas de procesos, se concluye que el uso integrado de herramientas como Ishikawa, 5 porqués, Pareto, FMEA, diagnóstico 5S y mapa de calor permitió priorizar las causas con mayor impacto sobre el problema. La convergencia de estas herramientas señaló como causas principales el vibrado inconsistente, la dosificación variable, el desmolde sin control formal, el transporte interno deficiente y la falta de medición económica del desperdicio.

Esta conclusión es relevante porque demuestra que el Capítulo IV no debe interpretarse como una acumulación de herramientas, sino como un proceso de depuración causal. Cada instrumento aportó una lectura distinta del problema. El Ishikawa permitió clasificar causas por categoría; los 5 porqués profundizaron en causas específicas; el Pareto permitió priorizar; el FMEA ayudó a valorar criticidad; el diagnóstico 5S permitió observar condiciones del área; y el mapa de calor facilitó visualizar la relación entre impacto, frecuencia, detectabilidad y costo. En conjunto, estas herramientas permitieron establecer una base técnica para diseñar la propuesta de mejora.

Con respecto al objetivo de implementar mejoras en el proceso productivo mediante la estandarización de la mezcla, la optimización del vibrado y la capacitación técnica del

personal operativo, se concluye que la propuesta desarrollada es viable y coherente con la realidad de INMACO SRL. La solución planteada no depende inicialmente de inversiones elevadas, sino de acciones de bajo costo relativo y alto impacto operativo, tales como procedimientos escritos, checklists, fichas de dosificación, registros de curado, autorización de desmolde, rutas de transporte interno, capacitación y seguimiento de indicadores.

Esta orientación resulta adecuada porque la empresa necesita primero estabilizar su método de trabajo antes de valorar inversiones mayores en maquinaria o infraestructura. Cuando un proceso no cuenta con estándares básicos, comprar más equipo no necesariamente elimina los defectos. En cambio, documentar la forma correcta de trabajar, capacitar al personal, registrar datos y revisar resultados sí permite reducir variabilidad y construir una base más sólida para futuras decisiones de inversión. Por tanto, la propuesta responde a una lógica de mejora progresiva, práctica y ajustada a las condiciones reales de la organización.

En relación con el objetivo de controlar y dar seguimiento al proceso mediante indicadores de calidad, se concluye que la sostenibilidad de la mejora dependerá de la disciplina con que la empresa utilice los mecanismos propuestos. El tablero de indicadores, la auditoría 5S, la revisión semanal, la herramienta económica y los registros por lote permiten dar seguimiento al proceso y detectar desviaciones antes de que el problema vuelva a crecer. No obstante, estos instrumentos solo tendrán valor si se aplican de manera constante y si la administración los utiliza para tomar decisiones.

El proyecto también permite concluir que la mejora continua requiere una estructura mínima de control. En INMACO SRL, el conocimiento operativo existe, pero necesita ser formalizado para que no dependa únicamente de la experiencia individual de cada trabajador. La documentación del método, la definición de responsables y la revisión periódica de indicadores permitirán que el proceso sea más estable, incluso cuando haya cambios de personal, variaciones en la demanda o ajustes en los productos fabricados.

6.1.3 Conclusiones sobre la propuesta de mejora

Se concluye que la propuesta de mejora responde directamente a las causas raíz identificadas en el diagnóstico. El procedimiento de vibrado atiende la variabilidad en la compactación del concreto; la ficha de dosificación responde a la falta de control sobre materiales y aditivos; el registro de curado y autorización de desmolde atiende los riesgos de quiebres por manipulación temprana; el control de transporte interno responde a daños por

golpes, apoyos inadecuados o traslados sin ruta; y el tablero de indicadores atiende la ausencia de medición sistemática del proceso.

Esta relación causa-solución es uno de los principales aportes del proyecto. La propuesta no se presenta como una lista general de buenas prácticas, sino como una respuesta técnica a problemas concretos detectados en el proceso. Esto permite que la empresa comprenda por qué debe implementar cada acción y qué riesgo se busca reducir con cada procedimiento. Además, facilita la defensa académica del proyecto, porque demuestra trazabilidad entre problema, diagnóstico, solución, implementación y control.

También se concluye que los diagramas BPMN diseñados para vibrado, dosificación, curado, desmolde y transporte interno aportan claridad operativa al proceso. Estos diagramas permiten visualizar la secuencia correcta de trabajo, los puntos de decisión y los registros necesarios. Su utilidad no se limita a la presentación visual dentro de la tesis, ya que pueden funcionar como material de capacitación para el personal operativo y como guía para supervisores durante la revisión de cumplimiento.

La propuesta también incorpora un componente importante de gestión del cambio. La mejora no consiste únicamente en entregar formatos o colocar indicadores, sino en modificar la forma en que se ejecuta y controla el proceso. Para que el cambio sea sostenible, el personal debe comprender la razón de cada registro, la importancia del vibrado controlado, el efecto de la dosificación sobre la calidad, el riesgo del desmolde anticipado y la necesidad de proteger las piezas durante el traslado interno. Sin esta comprensión, los formatos podrían convertirse en un requisito administrativo sin impacto real sobre la calidad.

6.1.4 Conclusiones sobre el impacto económico y operativo

Se concluye que la reducción del índice de productos defectuosos tendría un impacto positivo en la rentabilidad de INMACO SRL, debido a que disminuiría el consumo improductivo de cemento, agregados, agua, aditivos, formaletas, mano de obra y tiempo de proceso. Aunque los valores económicos deben validarse con datos contables reales de la empresa, el modelo planteado permite demostrar que el defecto no debe verse únicamente como una pérdida de producto, sino como un costo acumulado que afecta la capacidad productiva y la utilidad del negocio.

El impacto económico del proyecto se manifiesta en el corto, mediano y largo plazo. En el corto plazo, la empresa puede obtener beneficios mediante la reducción de reprocesos,

desperdicios y quiebres durante el desmolde o transporte interno. En el mediano plazo, la estandarización puede mejorar la estabilidad de la producción y permitir una mejor planificación de materiales y entregas. En el largo plazo, el control del proceso puede fortalecer la confianza del cliente, mejorar la reputación de la empresa y facilitar el crecimiento ordenado de la producción.

Desde el punto de vista operativo, la propuesta permite reducir la variabilidad del proceso y mejorar la trazabilidad por lote. Esto significa que, cuando aparezca un defecto, la empresa podrá revisar registros y ubicar con mayor claridad si la desviación ocurrió en la dosificación, el vibrado, el curado, el desmolde o el transporte interno. Esta capacidad de análisis es fundamental para pasar de una corrección reactiva a una gestión preventiva de la calidad.

En términos de beneficiarios, los principales beneficiarios directos son la administración, el personal operativo y los clientes de INMACO SRL. La administración se beneficia porque obtiene información más clara para decidir; el personal operativo se beneficia porque contará con procedimientos y criterios definidos; y los clientes se benefician porque recibirán productos con mayor consistencia y menor probabilidad de defectos. Como beneficiarios indirectos se identifican los contratistas, municipalidades, obras civiles y comunidades que utilizan los prefabricados en proyectos de infraestructura.

6.1.5 Conclusiones sobre la implementación y sostenibilidad

Se concluye que la implementación debe realizarse de manera gradual, iniciando con las causas de mayor criticidad. El procedimiento de vibrado y la ficha de dosificación deben aplicarse primero, ya que son controles preventivos ubicados en etapas tempranas del proceso. Posteriormente, deben consolidarse los controles de curado, autorización de desmolde y transporte interno. Esta secuencia permite evitar sobrecargar al personal con demasiados cambios simultáneos y facilita observar el impacto de cada mejora.

La sostenibilidad de la propuesta dependerá principalmente del seguimiento. Si los procedimientos se aplican durante las primeras semanas, pero luego dejan de revisarse, el proceso podría regresar a las prácticas anteriores. Por ello, el proyecto concluye que la revisión semanal de indicadores, la auditoría mensual 5S, la verificación de registros y la asignación de responsables son elementos indispensables para institucionalizar la mejora. La guía de la UH también enfatiza que el Capítulo V debe responder cómo se garantiza la

sostenibilidad de la solución en el tiempo y que el Capítulo VI debe cerrar con conclusiones y recomendaciones sobre esa implementación.

Finalmente, se concluye que el proyecto deja a INMACO SRL una base metodológica replicable. Una vez estabilizada la línea de postes y alcantarillas, la empresa podrá aplicar la misma lógica DMAIC en otros productos o procesos. Esto convierte el proyecto en una herramienta de aprendizaje organizacional, porque no solo plantea una solución para un problema actual, sino que también proporciona una forma ordenada de abordar futuros problemas de calidad, desperdicio o eficiencia.

6.2 Recomendaciones

6.2.1 Recomendaciones generales

Se recomienda a INMACO SRL implementar la propuesta de mejora de forma gradual, priorizando las acciones que atacan directamente las causas raíz de mayor criticidad. La empresa debe evitar aplicar todos los cambios al mismo tiempo sin seguimiento, ya que esto podría generar confusión operativa y pérdida de control. La implementación debe iniciar con el procedimiento de vibrado, la ficha de dosificación y el registro por lote, debido a que estos controles se ubican en etapas tempranas del proceso y tienen impacto directo sobre la calidad final del producto.

Se recomienda que la administración asuma un rol activo en la sostenibilidad del proyecto. La mejora no debe quedar únicamente bajo responsabilidad del personal operativo, porque el control de calidad requiere aprobación, seguimiento, recursos, disciplina y toma de decisiones. La administración debe revisar indicadores, validar costos reales, asignar responsables, aprobar procedimientos y asegurar que los registros sean utilizados para mejorar, no solo para archivar información.

También se recomienda que la empresa mantenga la metodología DMAIC como esquema permanente de mejora continua. Cuando se presente un nuevo problema de calidad o productividad, la empresa puede aplicar la misma secuencia: definir el problema, medirlo, analizar sus causas, mejorar el proceso y controlar los resultados. Esto permitiría que INMACO SRL desarrolle una cultura de mejora basada en evidencia y no únicamente en correcciones improvisadas.

6.2.2 Recomendaciones sobre el vibrado

Se recomienda aprobar e implementar el procedimiento estandarizado de vibrado como una de las primeras acciones del plan de mejora. Esta recomendación se fundamenta en que el vibrado inconsistente fue identificado como una causa crítica dentro del análisis causal. El procedimiento debe establecer con claridad la secuencia de aplicación, el tiempo mínimo requerido, la forma de distribuir el vibrado en el molde, las condiciones previas que deben verificarse y el responsable de registrar el cumplimiento.

Se recomienda que cada lote cuente con un checklist obligatorio de vibrado. Este registro debe completarse en el momento de la operación y no al final de la jornada, ya que el valor del dato depende de su oportunidad. Si el checklist se llena después, puede perder confiabilidad y convertirse en un trámite sin utilidad técnica. El objetivo del registro debe ser asegurar que cada lote fue vibrado bajo condiciones controladas y que cualquier desviación quedó documentada para su revisión.

Se recomienda capacitar al personal operativo mediante demostraciones prácticas en planta. La capacitación debe mostrar ejemplos de vibrado insuficiente, vibrado excesivo, zonas del molde con compactación deficiente y consecuencias visibles en el producto final. Esta formación debe ser sencilla, directa y vinculada con la realidad del proceso, de modo que el trabajador comprenda que el vibrado no es una actividad rutinaria más, sino un punto crítico para evitar vacíos, fisuras y pérdida de resistencia.

6.2.3 Recomendaciones sobre dosificación y mezcla

Se recomienda implementar una ficha de dosificación por lote para postes y alcantarillas. Esta ficha debe registrar cantidades de cemento, agregado, agua y aditivo, así como hora de preparación, responsable de la mezcla y observaciones sobre ajustes realizados. La finalidad de esta recomendación es reducir la variabilidad entre lotes y asegurar que las diferencias en calidad puedan analizarse con información real del proceso.

Se recomienda que la empresa defina una fórmula base de mezcla para cada tipo de producto y que cualquier ajuste sea autorizado por el responsable designado. En procesos donde la dosificación se modifica de manera empírica, existe mayor riesgo de obtener mezclas con baja homogeneidad, exceso de agua, pérdida de resistencia o tiempos de fraguado variables. Por ello, la dosificación debe dejar de depender exclusivamente de la experiencia individual y pasar a controlarse mediante parámetros visibles y verificables.

Se recomienda almacenar los aditivos y materiales bajo condiciones que faciliten su identificación y uso correcto. El material debe estar rotulado, protegido y disponible en un punto definido. Además, el uso de aditivos debe acompañarse de registro, ya que su aplicación sin control puede alterar el comportamiento de la mezcla. Esta medida permite fortalecer la trazabilidad y reducir la posibilidad de que una falla de calidad se repita sin poder identificar su origen.

6.2.4 Recomendaciones sobre curado y desmolde

Se recomienda establecer la autorización formal de desmolde como punto obligatorio de control. Ninguna pieza debería retirarse del molde sin verificar previamente el tiempo mínimo de curado, la condición visual del producto y la aprobación del responsable. Esta recomendación es fundamental porque el desmolde anticipado puede provocar quiebres, deformaciones o fisuras que luego se interpretan como defectos del producto, cuando en realidad responden a una falta de control en la secuencia de trabajo.

Se recomienda utilizar un registro de hora de inicio y hora de autorización de desmolde. Este registro debe permitir comprobar que la pieza cumplió el tiempo mínimo establecido antes de ser manipulada. También debe incluir observaciones sobre condiciones climáticas, humedad o exposición al sol cuando estas puedan afectar el comportamiento del concreto. La empresa no debe depender únicamente de la percepción del operario para decidir el desmolde, sino de un criterio mínimo verificable.

Se recomienda reforzar la inspección visual previa al desmolde y posterior al desmolde. La inspección previa permite detectar condiciones de riesgo antes de mover la pieza, mientras que la inspección posterior permite identificar si el daño se generó durante la extracción. Esta diferencia es importante porque ayuda a ubicar mejor la causa del defecto y evita atribuir todos los problemas a la misma etapa del proceso.

6.2.5 Recomendaciones sobre transporte interno y almacenamiento

Se recomienda definir una ruta de transporte interno para las piezas prefabricadas. El traslado debe realizarse por una zona despejada, con apoyos adecuados y con mínima exposición a golpes, flexiones o movimientos bruscos. Esta recomendación responde a que una pieza puede cumplir correctamente con la dosificación, el vibrado y el curado, pero dañarse durante el traslado si no se manipula de forma adecuada.

Se recomienda establecer apoyos específicos para levantar, mover y ubicar las piezas. Los apoyos deben evitar puntos de presión que puedan generar fisuras o quiebres. También debe definirse dónde colocar las piezas por lote, cómo rotarlas y cómo separarlas para evitar golpes entre productos. El almacenamiento no debe verse como una etapa final sin control, sino como una parte del proceso de calidad.

Se recomienda realizar una revisión visual posterior al traslado. Si una pieza presenta daño después de ser movida, debe registrarse para diferenciar los defectos de fabricación de los defectos de manipulación. Esta trazabilidad es importante porque permite atacar la causa correcta y evitar que el análisis se distorsione. Sin esta separación, la empresa podría invertir esfuerzo en ajustar la mezcla cuando el problema real se genera durante el transporte interno.

6.2.6 Recomendaciones sobre indicadores y control

Se recomienda poner en funcionamiento un tablero de indicadores de calidad y productividad. Este tablero debe mostrar, al menos, porcentaje de defectos, cantidad de piezas rechazadas, cumplimiento de vibrado, cumplimiento de dosificación, registros completos, defectos por etapa y costo estimado de no calidad. El tablero debe ser revisado semanalmente por la administración o el responsable de producción.

Se recomienda que las reuniones de seguimiento sean breves, constantes y orientadas a decisiones. No deben convertirse en reuniones largas sin acciones concretas. Cada desviación detectada debe generar una acción correctiva con responsable y fecha de cierre. De esta forma, el indicador deja de ser un dato decorativo y se convierte en una herramienta de gestión.

Se recomienda aplicar auditorías 5S mensuales en el área de producción. Estas auditorías deben evaluar orden, limpieza, identificación de materiales, ubicación de herramientas, estado de formaletas, rutas de traslado, almacenamiento de piezas y cumplimiento de registros. La auditoría debe estar orientada a sostener el método de trabajo y a prevenir que el área vuelva a condiciones de desorden o informalidad.

6.2.7 Recomendaciones sobre análisis económico

Se recomienda validar la herramienta económica con datos reales de INMACO SRL. Para ello, la administración debe incorporar costos unitarios de materiales, mano de obra, reproceso, descarte, tiempo de producción, inversión requerida y ahorro estimado. El uso de valores referenciales es útil para fines académicos, pero la empresa necesita datos reales para tomar decisiones financieras con mayor precisión.

Se recomienda calcular periódicamente el costo de no calidad. Este cálculo permitirá visualizar cuánto dinero se pierde por productos defectuosos y cuánto se recupera al reducir el desperdicio. Cuando el defecto se expresa únicamente como cantidad de piezas rechazadas, puede percibirse como un problema operativo; pero cuando se traduce en costo, se convierte en una variable administrativa relevante para la toma de decisiones.

Se recomienda analizar el beneficio económico en tres horizontes. En el corto plazo, debe observarse la reducción de desperdicio y reproceso. En el mediano plazo, debe valorarse la estabilidad del proceso y la disminución de reclamos. En el largo plazo, debe analizarse el efecto sobre la rentabilidad, la reputación y la capacidad de crecimiento de la empresa. Esta lectura permitirá que la mejora se valore no solo como un gasto de implementación, sino como una inversión en control y competitividad.

6.2.8 Recomendaciones sobre capacitación y cultura de mejora

Se recomienda desarrollar un plan de capacitación sencillo y práctico para el personal operativo. Este plan debe incluir vibrado, dosificación, curado, desmolde, transporte interno, llenado de registros y criterios básicos de calidad visual. La capacitación debe repetirse cuando ingrese personal nuevo o cuando se detecten incumplimientos recurrentes.

Se recomienda que la capacitación se acompañe con material visual dentro del área de trabajo. Los diagramas BPMN, los puntos críticos de control y los checklists pueden colocarse en lugares visibles para facilitar la consulta. Esto ayuda a que el procedimiento no quede únicamente en el documento de tesis, sino que se convierta en una guía real para la operación diaria.

Se recomienda fortalecer la cultura de mejora continua mediante participación del personal. Los trabajadores que ejecutan el proceso conocen detalles importantes de la operación; por ello, deben ser escuchados durante la revisión de problemas y propuestas de ajuste. Sin embargo, sus aportes deben canalizarse mediante datos y registros, para evitar que la mejora dependa solo de percepciones.

6.2.9 Recomendaciones sobre implementación gradual

Se recomienda iniciar la implementación con un piloto controlado en la línea de postes y alcantarillas. Durante el piloto deben aplicarse los procedimientos, registros e indicadores definidos, y posteriormente se deben analizar los resultados antes de extender la mejora a otros

productos. Esta recomendación busca evitar una implementación apresurada que genere sobrecarga o pérdida de control.

Se recomienda que el piloto tenga un periodo mínimo de seguimiento suficiente para observar tendencias. No conviene evaluar el resultado con uno o dos lotes únicamente, porque podrían existir variaciones normales del proceso. La empresa debe revisar varios ciclos de producción para determinar si la mejora está reduciendo defectos de manera sostenida.

Se recomienda documentar los ajustes que surjan durante el piloto. Si un formato resulta muy complejo, si un procedimiento requiere adaptación o si un indicador no aporta información útil, debe modificarse con base en evidencia. La implementación no debe verse como una acción rígida, sino como una etapa de aprendizaje controlado.

6.2.10 Recomendación final

Se recomienda que INMACO SRL utilice este proyecto como base para institucionalizar un sistema de mejora continua. La propuesta desarrollada no debe entenderse únicamente como un requisito académico, sino como una oportunidad para ordenar el proceso productivo, disminuir desperdicios, mejorar la calidad del producto final y fortalecer la rentabilidad de la empresa.

La empresa posee experiencia, conocimiento práctico y capacidad operativa; sin embargo, requiere convertir esa experiencia en procedimientos, registros, indicadores y decisiones sistemáticas. Si la administración sostiene la revisión de resultados y el personal aplica los controles definidos, la organización podrá reducir el índice de defectos, mejorar la confiabilidad de sus prefabricados y disponer de una base técnica para crecer de forma más ordenada.

Con base en lo anterior, el proyecto cumple su propósito principal al proponer una mejora estructurada para reducir productos defectuosos mediante DMAIC, fortalecer el control del proceso y establecer mecanismos de seguimiento que permitan sostener los resultados en el tiempo.

CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA

- ACI Committee 308. (2016). *Guide to external curing of concrete (ACI 308R-16)*. American Concrete Institute.
https://www.concrete.org/portals/0/files/pdf/previews/308r_16_preview.pdf
- ACI Committee 309. (2005). *Guide for consolidation of concrete (ACI 309R-05)*. American Concrete Institute.
<https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/14724>
- American Society for Quality. (s. f.-a). *DMAIC process: Define, Measure, Analyze, Improve, Control*.
<https://asq.org/quality-resources/dmaic>
- American Society for Quality. (s. f.-b). *Fishbone diagram*.
<https://asq.org/quality-resources/fishbone>
- American Society for Quality. (s. f.-c). *Pareto chart*.
<https://asq.org/quality-resources/pareto>
- American Society for Quality. (s. f.-d). *Five whys and five hows*.
<https://asq.org/quality-resources/five-whys>
- American Society for Quality. (s. f.-e). *Root cause analysis*.
<https://asq.org/quality-resources/root-cause-analysis>
- ASTM International. (2020). *ASTM C143/C143M-20: Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete*.
https://www.astm.org/c0143_c0143m-20.html
- ASTM International. (2021). *ASTM C39/C39M-21: Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*.
https://www.astm.org/c0039_c0039m-21.html
- ASTM International. (2023a). *ASTM C31/C31M-23: Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field*.
https://www.astm.org/c0031_c0031m-23.html
- ASTM International. (2023b). *ASTM C94/C94M-23: Standard specification for ready-mixed concrete*.
https://www.astm.org/c0094_c0094m-23.html

- George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). *The Lean Six Sigma pocket toolbox*. McGraw-Hill.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations management: Sustainability and supply chain management* (13th ed.). Pearson.
- INMACO SRL. (2026). *Información operativa, fotografías y datos internos del proceso de fabricación de prefabricados de concreto* [Material no publicado suministrado para fines académicos].
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9001:2015: Quality management systems—Requirements*.
<https://www.iso.org/standard/62085.html>
- Krajewski, L. J., Malhotra, M. K., & Ritzman, L. P. (2019). *Operations management: Processes and supply chains* (12th ed.). Pearson.
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to statistical quality control* (8th ed.). Wiley.
- Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2018). *The Six Sigma handbook* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Slack, N., & Brandon-Jones, A. (2022). *Operations management* (10th ed.). Pearson.
- Universidad Hispanoamericana, Escuela de Ingeniería Industrial. (2024). *Guía 02: Presentación de proyectos de graduación* (Versión 04). Universidad Hispanoamericana.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation* (2nd ed.). Free Press.

ANEXOS

Anexo 1. Excel automatizado DMAIC empresa INMACO SRL.

Este anexo presenta una herramienta automatizada en Excel diseñada para apoyar el control y seguimiento de la propuesta de mejora en INMACO SRL. El archivo permite registrar datos por lote, controlar la dosificación, verificar el vibrado, dar seguimiento al curado, desmolde y transporte interno, además de calcular indicadores de defectos, costo de no calidad, ahorro esperado y acciones correctivas.

La herramienta facilita la aplicación de la fase Controlar de la metodología DMAIC, ya que permite ordenar la información del proceso, revisar resultados y tomar decisiones con base en datos. Su uso contribuye a mantener la mejora en el tiempo y a reducir la posibilidad de que el proceso vuelva a prácticas informales.

Link de descarga de herramienta:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1o4NYF195nYfD1NLMC45ba2rrBi6tq-2z/edit?usp=sharing&ouid=103684317051644766981&rtpof=true&sd=true>