



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO Y MEJORA DEL MANTENIMIENTO
PREVENTIVO DE SISTEMAS CONTRA INCENDIO EN MOTHERSON
ZITLALTÉPEC BAJO NORMATIVA NFPA 20 Y 25**

**TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA
PROFESIONAL**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA EN SISTEMAS AUTOMOTRICES**

**PRESENTA:
RUBÉN CAMACHO VELÁZQUEZ**

**NOMBRE DEL ASESOR:
ING. LUIS ERVEY SÁNCHEZ SAMPEDRO**

Agradecimientos

Agradezco de manera especial a mi familia, por el apoyo incondicional brindado a lo largo de mi formación académica, así como a mi hermano y a mi pareja, por su comprensión, motivación y acompañamiento constante durante el desarrollo de este proyecto.

De igual forma, expreso mi agradecimiento al Ingeniero Francisco León y al Ingeniero Francisco Adolfo, asesores externos en la planta Motherson, por su orientación, apoyo técnico y disposición para compartir su experiencia, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de los proyectos realizados.

Asimismo, agradezco al Ingeniero Luis Ervey Sánchez, asesor interno del proyecto, por su apoyo, seguimiento y valiosas aportaciones, que contribuyeron de manera directa a la correcta culminación de este trabajo de titulación.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, brindaron su apoyo durante el periodo de residencias profesionales y contribuyeron al logro de los objetivos planteados.

Índice

Capítulo I: Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Revisión del Estado de la Técnica	3
1.3 Justificación	5
1.3.1 Justificación Teórica.....	5
1.3.2 Justificación Social	5
1.3.3 Justificación Económica	6
1.3.4 Justificación Ambiental.....	6
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivos Específicos	7
1.5 Descripción de la empresa.....	7
Capítulo II: Marco Teórico.....	10
2.1 Introducción al Marco Teórico.....	10
2.2 Historia y Evolución de los Sistemas Contra Incendios.....	11
2.3 Conceptos Fundamentales del Mantenimiento Industrial	12
2.3.1 Tipos de mantenimiento aplicados al sistema contra incendios.....	13
2.3.2 Importancia del mantenimiento en sistemas contra incendios	13
2.4 Hidráulica Aplicada a Sistemas Contra Incendios	14
2.5 Teoría del Riesgo Industrial	16
2.6 Modelos Avanzados de Gestión del Mantenimiento	17
2.7 Sistema Contra Incendios: Componentes, Funcionamiento y Requerimientos Normativos (NFPA 20 / NFPA 25)	18
2.7.1 Componentes principales del sistema contra incendios	18
2.7.2 Funcionamiento general del sistema.....	20
2.7.3 Requerimientos clave de NFPA 20.....	20
2.7.4 Importancia de la conformidad normativa.....	21
2.8 Periodicidades establecidas por NFPA 25.....	21
2.8.1 Fallas más frecuentes en sistemas contra incendios (según NFPA 25).....	22
2.9 Requerimientos de NFPA 20 aplicados a Bombas Contra Incendio.....	22
2.9.1 Requisitos de rendimiento de la bomba	23
2.9.2 Componentes esenciales del sistema de bombeo	23

2.9.3 Controladores y arranque automático	24
2.9.4 Pruebas obligatorias	24
Capítulo III: Metodología.....	25
3.1 Metodología del Proyecto	25
3.2 Diagnóstico técnico del sistema de protección contra incendios de Motherson Zitlaltepec.....	29
3.2.1 Inspección documental (Checklists existentes vs. NFPA 25).....	29
3.2.2 Inspección física con evidencia fotográfica	30
3.2.3 Evaluación de cumplimiento general	34
3.2.4 Componentes inspeccionados.....	35
3.2.5 Hallazgos del diagnóstico en campo.....	36
3.2.6 Conclusión del diagnóstico	37
3.3 Inspección visual y levantamiento en sitio del sistema contra incendio.....	38
3.3.1 Metodología aplicada	39
3.3.2 Componentes inspeccionados.....	41
3.3.3 Resultados preliminares del levantamiento	41
3.4 Revisión de Registros de Mantenimiento del Sistema Contra Incendios	42
3.4.1 Descripción del proceso	42
3.4.2 Documentos revisados	42
3.4.3 Principales hallazgos críticos	43
3.4.4 Impacto técnico en las brechas	43
3.4.6 Diagrama de flujo de revisión documental (propuesta).....	44
3.5 Entrevistas al personal involucrado.....	45
3.5.1 Objetivo de las entrevistas:	46
3.5.2 Hallazgos Relevantes	46
3.5.3 Tabla con preguntas para entrevista	47
3.5.4 Síntesis estadística de las respuestas	49
3.5.5 Síntesis General de Resultados de las Entrevistas Aplicadas al Personal Involucrado en el Sistema Contra Incendios	52
3.5.6 Conclusiones generales del análisis.....	55
3.6 Análisis de Cumplimiento Normativo del Sistema Contra Incendios	55
3.6.1 Objetivo del Análisis	55
3.6.2 Metodología Aplicada.....	56
3.6.3 Matriz General de Cumplimiento Normativo	56
3.6.4 Resultados Clave del Cumplimiento (Derivados de Entrevistas y Campo)	57
3.6.5 Evaluación Global del Cumplimiento.....	57

3.6.6 Conclusión Técnica del Apartado 3.6.....	58
3.7 Evaluación de Riesgos del Sistema Contra Incendios (SCI).....	58
3.7.1 Matriz de riesgos	59
3.7.2 Diagrama de Pareto de riesgos.....	60
3.7.4 Resumen de evaluación de riesgos.	60
3.8 Diseño del plan de mejora.....	61
3.8.1 Objetivo General del Plan de Mejora	61
3.8.2 Estrategia General de Mejora.....	61
3.8.3 Priorización de acciones según riesgo	62
3.8.4 Plan de mejora detallado.....	62
3.8.5 Implementación de KPIs del Sistema Contra Incendios	63
3.8.6 Flujograma de ejecución del plan de mejora	63
3.8.8 Conclusión del Plan de Mejora.....	65
3.9 Diseño de Procedimientos y Formatos del Sistema Contra Incendios	65
3.9.1 Estructura estándar de los procedimientos.....	66
3.9.2 Procedimientos diseñados para el Sistema Contra Incendios.....	66
3.9.3 Diseño de formatos de inspección y mantenimiento.....	68
3.9.4 Alcance del punto 3.9 dentro del proyecto	69
3.10 Revisión del Plan y Validación Interna.....	69
3.10.1 Objetivo del Plan de Revisión y Validación	69
3.10.2 Alcance de la Revisión	69
3.10.3 Proceso de Revisión Interna	70
3.10.4 Resultados de la Validación	70
3.10.5 Hoja de Validación Interna del Sistema Contra Incendios.....	70
3.10.6 Cierre del Capítulo.....	70
3.11 Capacitación y Difusión al Personal del Sistema Contra Incendios	70
Capítulo IV: Resultados proyecto 1	73

Capítulo V: Proyecto 2 Reducción de tiempos muertos en reparación de máquinas de

inyección	82
5.1 Planteamiento del problema.....	82
5.2 Objetivo general	83
5.3 Objetivos específicos	83
5.3 Justificación	83

5.4 Marco Teorico	85
5.4.1 Mantenimiento industrial: concepto y relevancia en la continuidad operativa.....	85
5.4.2 Disponibilidad y tiempo muerto (downtime) en equipos industriales.....	86
5.4.3 Tiempo de reparación (MTTR) y componentes del proceso de atención a fallas	89
5.4.4 Diagnóstico de fallas y su impacto en el tiempo muerto	91
5.4.5 Estandarización de procedimientos de mantenimiento y diagnóstico	92
5.4.6 Comunicación entre producción y mantenimiento y su influencia en el tiempo muerto.....	94
5.4.7 Priorización de fallas y gestión del trabajo de mantenimiento	96
5.4.8 Gestión de refacciones y recursos (MRO) y su impacto en el tiempo muerto	98
5.4.9 Capacitación técnica y gestión del conocimiento en el mantenimiento industrial.....	100
5.4.10 Indicadores de desempeño en mantenimiento: MTTR, MTBF y disponibilidad	102
5.5 Metodología	105
5.5.1 Tipo de investigación	105
5.5.2 Enfoque metodológico	105
5.5.3 Alcance de la investigación.....	106
5.5.4 Tipo de diseño de la investigación.....	106
5.5.5 Contexto organizacional	108
5.5.6. Diagnóstico de la situación actual	109
5.5.7 Levantamiento de información	122
5.5.8 Análisis del proceso actual de atención a fallas (AS-IS).....	130
5.5.8 Identificación de causas del tiempo muerto	138
• Problemática 2: Dificultad en la localización y diagnóstico de la falla	142
5.5.9 Comparación de los formatos de registro de tiempos muertos de producción y mantenimiento	144
5.5.10. Cierre del análisis metodológico y alcance de las propuestas de mejora	148
5.6 Resultados generales del proyecto numero 2	150
Capitulo VI Conclusiones	153
Capitulo VII Competencias generadas y aplicadas.....	156
Competencias metodológicas desarrolladas.....	156
Competencias relacionadas con la gestión y organización	157
Competencias de comunicación y trabajo colaborativo	157
Referencias	1

Índice de Figuras

Ilustración 1.-Evolución histórica de los sistemas contra incendios desde el siglo XVII hasta la actualidad.	12
Ilustración 2. Grafica curva presión-caudal con los valores clave que exige NFPA 20	15
Ilustración 3. Diagrama Bow-Tie del riesgo asociado a la falla del sistema contra incendios.	17
Ilustración 4. Curva de Disponibilidad vs MTTR	18
Ilustración 5. curva presión-caudal conforme a NFPA 20 para bomba contra incendio.	19
Ilustración 6. Componentes principales de un sistema contra incendios conforme a NFPA 20 y NFPA 25.	21
Ilustración 7. Frecuencia estimada de fallas basada en tendencias comunes de NFPA 25.	22
Ilustración 8. Diagrama del sistema de bombeo (NFPA 20)	24
Ilustración 9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES SEGUN ANTEPROYECTO	25
Ilustración 10. Diagrama de metodología de inspección	39
Ilustración 11. Diagrama de revisión y validación de los reportes	45
Ilustración 12. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 5.	49
Ilustración 13. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 2.	50
Ilustración 14. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 6.	50
Ilustración 15. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 7.	50
Ilustración 16. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 8.	51
Ilustración 17. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 16.	51
Ilustración 18. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 15.	51
Ilustración 19. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 13.	52
Ilustración 20. Grafica de cumplimiento normativo según encuestas	57
Ilustración 21. Diagrama de pareto de riesgos.	60
Ilustración 22. Flujograma de aplicación del plan de mejora.	64
Ilustración 23. Proveedores realizando inspección del motor 2	74
Ilustración 24. Prueba de eficiencia a motor del SCI en planta Motherson.	75
Ilustración 25. Cabezal del motor desmontado y listo para enviar a pruebas.	75
Ilustración 26. Imagen del motor al quedar expuesto con visibles rasgos de desgaste.	76
Ilustración 27. Vale de salida para reparación y prueba de cabeza del motor, avalado por directivos.	77
Ilustración 28. Prueba de relevador alarma ubicada en riser del SCI.	77
Ilustración 29. Prueba de sonido de alarma.	78
Ilustración 30. Limpieza de sistema de CO2 y espuma para cabinas de transparente en pintura.	78
Ilustración 31. Ubicación de lineas de inspección.	79
Ilustración 32. Nuevo checklist de estaciones manuales.	79
Ilustración 33. Nuevo checklist de hidrantes.	80
Ilustración 34. Validación de checklists.	80
Ilustración 35. Carta de aceptación del nuevo formato de check list avalado por especialista del SCI, listo para aplicar en Enero 2026.	81
Ilustración 36. MAINTENANCE PYRAMID. MaintMaster Systems AB.	86
Ilustración 37. Diagrama de estados y transiciones de estado. schneider-electric.com	88
Ilustración 38. Componentes del tiempo de reparación (MTTR) en el mantenimiento correctivo. Fractal	90

Ilustración 39. Detección y diagnóstico de fallas mediante técnicas de inteligencia artificial, un estado del arte. redalyc.org	92
Ilustración 40. Estructura general de un procedimiento estandarizado de mantenimiento. scielo.cl.....	94
Ilustración 41. Flujo de comunicación entre producción y mantenimiento durante la atención de fallas. “Diagrama elaborado con base en Wireman (2005) y Kelly (2014).”	96
Ilustración 42. Matriz de priorización de fallas en mantenimiento industria. Información Tecnológica. ...	98
Ilustración 43. Proceso general de gestión de refacciones en mantenimiento industrial. “Diagrama elaborado con base en ISO 55000 y Kelly (2014).”	100
Ilustración 44. Relación entre capacitación técnica, experiencia y tiempo de reparación. “Diagrama elaborado con base en Mobley (2002) y ISO 9001:2015.”	102
Ilustración 45. Relación entre MTTR, MTBF y disponibilidad en equipos industriales. Linkedin.com	104
Ilustración 46. Lay Out Inyección parte 1.	110
Ilustración 47. Lay Out Inyección parte 2.	111
Ilustración 48. Máquina de Inyección IMM 1300-4.....	113
Ilustración 49. Máquina de Inyección IMM 551-3.....	114
Ilustración 50. Máquina de Inyección IMM 1150-1.....	114
Ilustración 51. Máquina de Inyección IMM 1150-2.....	115
Ilustración 52. Máquina de Inyección IMM 1150-4.....	115
Ilustración 53. Máquina de Inyección IMM 1250-1.....	116
Ilustración 54. Máquina de Inyección IMM 1300-1.....	116
Ilustración 55. Máquina de Inyección IMM 1300-2.....	117
Ilustración 56. Máquina de Inyección IMM 1300-3.....	117
Ilustración 57. Máquina de Inyección IMM 1300-5.....	118
Ilustración 58. Máquina de Inyección IMM 1300-6.....	118
Ilustración 59. Máquina de Inyección IMM 2700-1.....	119
Ilustración 60. Máquina de Inyección 2700-2	119
Ilustración 61. Máquina de Inyección 2700-3	120
Ilustración 62. Máquina de Inyección EG 3200-00	120
Ilustración 63. Máquina de Inyección IMM 3200-1.....	121
Ilustración 64. Máquina de Inyección IMM 3200-2.....	121
Ilustración 65. Máquina de Inyección IMM 3200.3.....	122
Ilustración 66. Técnico de inyección monitoreando falla en máquina ENGEL 1300-1	124
Ilustración 67. Falla común "falla de cierre de molde en máquina ENGEL"	125
Ilustración 68. Recorrido de técnicos por pasillo principal para atender falla de máquinas.	125
Ilustración 69. Apoyo a técnicos en resolución de fallas en maquinaria.....	126
Ilustración 70. Ejemplo de hoja de mantenimiento correctivo en reparación de máquina de inyección.	127
Ilustración 71. Área de inyección donde se localizan técnicos y herramienta para reparaciones.	128
Ilustración 72. Ejemplo de distancia de recorrido de técnicos.....	129
Ilustración 73. Diagrama de proceso del proceso de reparación de máquina de inyección parte 1. Elaboración propia.....	133
Ilustración 74. Diagrama de proceso del proceso de reparación de máquina de inyección parte 2. Elaboración propia.....	134

Ilustración 75. Diagrama de proceso del proceso de reparación de maquina de inyección parte 3.	
Elaboración propia.....	135
Ilustración 76. Diagrama de Funciones cruzadas parte 1	136
Ilustración 77. Diagrama de Funciones cruzadas parte 2	137
Ilustración 78. Diagrama de Funciones cruzadas parte 3	137
Ilustración 79. Diagrama de Funciones cruzadas parte 4	138
Ilustración 80. Diagrama de Ishikawa de análisis del área de inyección.	141
Ilustración 81. Hoja de reporte de mantenimiento donde se registra tiempos muertos	147
Ilustración 82. Hoja de Producción donde se registran tiempos muertos.	148

Índice de Tablas

Tabla 1. Periodo de mantenimiento de componentes del SCI NFPA(2025)	21
Tabla 2. Inspección de documentación periodica de mantenimiento	30
Tabla 3. Tabla de hallazgos preliminares del SCI.....	30
Tabla 4. Hallazgos de riesgos criticos + evidencia del SCI	31
Tabla 5. Hallazgos de riesgos altos + evidencia del SCI.....	32
Tabla 6. Hallazgos de riesgos moderado + evidencia del SCI.....	33
Tabla 7. Hallazgos de riesgos bajo + evidencia del SCI	34
Tabla 8. Cumplimiento general del SCI	35
Tabla 9. Inspección, equipos y normas aplicables	36
Tabla 10. Clasificación de hallazgos.....	37
Tabla 11. Metodología aplicada.....	40
Tabla 12. Componentes y numero de equipos en sitio	41
Tabla 13. Reportes existentes de mantenimiento preventivo	42
Tabla 14. Impacto tecnico en el sistema.....	43
Tabla 15. Requisitos normativos que no se cumplen actualmente	44
Tabla 16. Personal requerido para responder encuesta de conocimientos sobre el SCI	46
Tabla 17. Preguntas realizadas al personal de la planta sobre el SCI	47
Tabla 18. Matriz de cumplimiento normativo del SCI	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 19. Matriz de riesgos de problematicas en componentes del SCI	59
Tabla 20. Prioridad de atención a fallas en base a riesgos	62
Tabla 21. Plan de mejora detallado y actualizado.	62
Tabla 22. Propuesta de implementación de kpi's.....	63
Tabla 23. Diseño de nuevos formatos y procedimientos normativos	65
Tabla 24. Diseño de formatos de inpección de mantenimiento.....	68
Tabla 25. Diagrama IS-IS NOT del análisis del tiempo muerto.	139
Tabla 26. 5W+2H, Comunicación por radio.	141
Tabla 27. 5W+2H, Dificultad en Localización y Diagnostico de Falla.	142
Tabla 28. 5W+2H, Acceso a Manuales Técnicos.	143
Tabla 29. 5W+2H, Ejecución de la reparación.	143

Resumen

El presente proyecto de titulación se desarrolló durante el periodo de residencias profesionales en la planta Motherson Tlaxcala y comprendió la ejecución simultánea de dos proyectos de ingeniería, orientados a la mejora de procesos críticos dentro de la organización. El primero estuvo enfocado en el análisis y mejora del Sistema Contra Incendio (SCI), mientras que el segundo se centró en la reducción de los tiempos muertos en la reparación de máquinas de inyección, ambos abordados mediante una metodología de análisis estructurada y aplicada a un entorno industrial real.

En el proyecto relacionado con el Sistema Contra Incendio, se realizó un diagnóstico del estado operativo y de mantenimiento del sistema, considerando la importancia del SCI como elemento crítico para la seguridad industrial. Como parte del desarrollo del proyecto, se llevaron a cabo pruebas funcionales al sistema, mediciones de parámetros operativos del motor contra incendio, pruebas de alarmas y la liberación de componentes que se encontraban bloqueados. Asimismo, con apoyo de un proveedor externo, se generó la curva de desempeño del motor, lo que permitió evaluar su funcionamiento bajo condiciones reales. Como resultado, se elaboraron y actualizaron checklists de mantenimiento, contribuyendo a la estandarización de las actividades y al fortalecimiento del control documental del sistema. Este proyecto permitió mejorar el conocimiento del estado real del SCI y sentar bases técnicas para su correcta operación y mantenimiento.

De manera paralela, se desarrolló el proyecto enfocado en la reducción de tiempos muertos en la reparación de máquinas de inyección, el cual partió de la identificación de que no existía un proceso formal, documentado ni estandarizado para la atención de fallas en el área de mantenimiento. Ante esta situación, se realizó un diagnóstico integral del proceso actual mediante observación directa en campo, participación activa con los técnicos de mantenimiento, análisis de layouts del área de inyección y de las máquinas, revisión de formatos existentes y mapeo del proceso AS-IS.

El análisis permitió identificar deficiencias relacionadas con la comunicación entre producción y mantenimiento, el diagnóstico de fallas, el acceso a información técnica, la gestión de refacciones y el seguimiento de las actividades de mantenimiento. A través de herramientas de análisis como diagramas de flujo, diagramas de funciones cruzadas, IS-IS NOT, Ishikawa y 5W + 2H, se identificaron cuatro problemáticas críticas que explican el origen de los tiempos muertos excesivos durante la reparación de los equipos. Asimismo, se realizó una comparación entre los registros de

tiempos muertos de producción y mantenimiento, evidenciando deficiencias en los mecanismos de medición y control del área de mantenimiento.

Debido a las limitaciones de tiempo propias del periodo de residencias profesionales, no fue posible implementar las soluciones propuestas para las problemáticas identificadas; sin embargo, se formularon propuestas de mejora viables, alineadas a las condiciones reales de operación del área, las cuales pueden ser implementadas y evaluadas en etapas posteriores. Cabe destacar que todo el análisis del proceso fue desarrollado desde cero por el residente, con el acompañamiento del asesor interno y externo, debido a la inexistencia de un proceso previo.

La ejecución simultánea de ambos proyectos representó un reto importante en términos de gestión del tiempo y coordinación con distintas áreas; no obstante, permitió aplicar conocimientos técnicos, metodológicos y organizacionales en un entorno industrial real. En conjunto, los proyectos aportan valor a la planta Motherson Tlaxcala al fortalecer el control de sistemas críticos de seguridad y al sentar las bases para la mejora del proceso de mantenimiento correctivo, contribuyendo tanto a la seguridad industrial como a la eficiencia operativa.

Capítulo I: Introducción

Durante el desarrollo de mis residencias profesionales, tuve la oportunidad de participar activamente en el análisis, diagnóstico y propuesta de mejora del Sistema Contra Incendios (SCI) de la planta, lo cual representó una experiencia formativa clave tanto a nivel técnico como profesional. Este proyecto surgió a partir de la necesidad de evaluar el estado actual del sistema, identificar brechas normativas y operativas, y proponer acciones de mejora alineadas con los lineamientos establecidos por las normas NFPA 20 y NFPA 25, considerando siempre las condiciones reales de operación de la planta.

A lo largo del proyecto, realicé actividades de levantamiento en sitio, inspección visual de los componentes del SCI, revisión de registros existentes, aplicación de entrevistas al personal involucrado y análisis de cumplimiento normativo. Estas acciones permitieron obtener una visión integral del sistema, no solo desde el punto de vista técnico, sino también desde la perspectiva operativa y organizacional. Como resultado, se identificaron áreas críticas relacionadas con la falta de documentación actualizada, la ausencia de procedimientos estandarizados, deficiencias en la capacitación del personal y oportunidades claras para fortalecer la confiabilidad y disponibilidad del sistema ante una emergencia.

El proyecto no se limitó únicamente al diagnóstico, sino que avanzó hacia el diseño de un plan de mejora, el desarrollo de nuevos formatos y checklists conforme a la normativa vigente, la evaluación de riesgos asociados al sistema y la validación interna de las propuestas, con el objetivo de generar un impacto real y sostenible en la operación del SCI. Esta experiencia me permitió aplicar conocimientos adquiridos durante mi formación académica, reforzar habilidades de análisis crítico y comprender la importancia de los sistemas de protección como elementos clave dentro de la seguridad industrial.

Asimismo, conforme avanzaron mis residencias profesionales, se logró identificar una nueva área de oportunidad dentro de la planta, la cual está más directamente relacionada con mi formación como ingeniero en sistemas automotrices. Durante la interacción con el personal de mantenimiento y producción, se detectó un exceso de tiempo muerto en la reparación de máquinas de inyección, lo que impacta de manera directa en la eficiencia operativa y en los indicadores de desempeño de la planta. Esta situación evidenció la necesidad de analizar desde el origen las causas de dichos tiempos muertos, evaluar los procesos actuales de

atención a fallas y estudiar los métodos utilizados para el diagnóstico y reparación de los equipos.

Derivado de lo anterior, se planteó la necesidad de desarrollar un nuevo proyecto enfocado en la reducción del tiempo muerto, abordando aspectos como la gestión de fallas, la comunicación entre áreas, la disponibilidad de refacciones, la capacitación técnica del personal y la estandarización de los procesos de ataque a fallas. Este nuevo enfoque representa una continuación natural de mi formación profesional y una oportunidad para aplicar de manera más directa los conocimientos propios de la ingeniería en sistemas automotrices, fortaleciendo así el impacto de mis residencias dentro de la organización. Así, que conforme avance el proyecto se podrá observar en los primeros puntos todo el desarrollo del proyecto del SCI y en el apartado final, vendrá la aplicación del proyecto de reducción de tiempos muertos.

1.1 Planteamiento del problema

La planta industrial Motherson, ubicada en la zona de Zitlaltepec, Tlaxcala, cuenta con un sistema contra incendios compuesto por estaciones manuales, risers, hidrantes, válvulas seccionales, bombas contra incendios y sus respectivos motores. Este sistema constituye un elemento crítico de seguridad industrial, destinado a salvaguardar la integridad del personal, los activos productivos y la continuidad de las operaciones ante un posible incidente relacionado con fuego. Sin embargo, se ha identificado que el programa de mantenimiento preventivo actualmente aplicado se encuentra desactualizado, ya que los formatos y checklists empleados corresponden al año 2016 y no reflejan los requerimientos técnicos y normativos vigentes al 2025.

Esta falta de actualización documental genera múltiples consecuencias: registros incompletos, inspecciones imprecisas, ausencia de indicadores confiables de desempeño y dificultad para evaluar el estado real del sistema. A esto se suma que la planta carece de procedimientos estandarizados para la atención de fallas, lo que significa que no existe un método formal que guíe las acciones cuando se presentan anomalías en bombas, válvulas, hidrantes o estaciones manuales. Esta carencia limita la capacidad de respuesta del personal en escenarios donde el tiempo es un factor crítico.

De manera adicional, se ha detectado un problema operativo de alto impacto: los operadores no cuentan con el conocimiento suficiente sobre la operación, funcionamiento y criterios

básicos del sistema contra incendios. Esta falta de capacitación representa un riesgo significativo, pues impide una correcta activación de equipos, dificulta la identificación temprana de fallas y compromete la efectividad del sistema frente a una emergencia real.

En el ámbito normativo, la NFPA 25 (2023) establece los requisitos mínimos para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios basados en agua, incluyendo válvulas, hidrantes y sistemas verticales. Por su parte, la NFPA 20 (2022) especifica las condiciones para la instalación, operación y mantenimiento de bombas contra incendios, destacando la necesidad de pruebas periódicas, verificación de parámetros y registro formal de resultados. El incumplimiento de estos lineamientos expone a la planta a riesgos operativos y de conformidad normativa. Por lo tanto, la problemática central radica en la necesidad urgente de actualizar los formatos, metodologías y procedimientos de mantenimiento preventivo, así como en establecer una metodología clara para la gestión de fallas y un programa de capacitación técnica para operadores. Solo mediante estas acciones será posible garantizar que el sistema contra incendios opere con seguridad, confiabilidad y alineación a las normas vigentes.

1.2 Revisión del Estado de la Técnica

La gestión, inspección y mantenimiento de los sistemas contra incendios en instalaciones industriales ha sido ampliamente estudiada debido a su importancia para la protección de vidas, bienes e infraestructura crítica. A nivel internacional, la referencia normativa más utilizada es la emitida por la National Fire Protection Association (NFPA), cuyas normas **NFPA 20** y **NFPA 25** establecen los estándares mínimos para la operación y mantenimiento de sistemas basados en agua. En términos técnicos, estas normas reconocen que la eficacia de un sistema contra incendios depende no solo de su correcta instalación, sino también del mantenimiento periódico y documentado (NFPA, 2022; NFPA, 2023).

Diversos estudios han identificado que, aun cuando las plantas industriales cuentan con sistemas instalados conforme a la normatividad, la falta de mantenimiento adecuado o el uso de formatos desactualizados representan un riesgo significativo. De acuerdo con Fernández y Morales (2021), más del 60% de los fallos en sistemas contra incendios están relacionados con deficiencias en el mantenimiento preventivo, tales como inspecciones inadecuadas, registros incompletos y ausencia de pruebas periódicas. Estos hallazgos coinciden con los

reportes de la Fire Protection Research Foundation (2020), que indican que las fallas más comunes se deben a válvulas cerradas, bombas fuera de servicio y sistemas no probados en los intervalos establecidos.

En el ámbito industrial mexicano, investigaciones recientes señalan que muchas empresas mantienen formatos o procedimientos viejos que no reflejan los cambios normativos o tecnológicos. Pérez y Solís (2022) documentan que cerca del 40% de las industrias revisadas continúan utilizando **formatos de mantenimiento obsoletos**, lo que genera discrepancias con los criterios de trazabilidad y evidencia operativa requeridos actualmente. Esto es particularmente problemático para sistemas de hidrantes, válvulas seccionales y bombas contra incendio, cuya periodicidad de inspección y pruebas ha sido actualizada en las últimas ediciones de la normativa NFPA.

Asimismo, estudios técnicos en plantas manufactureras revelan que existe una importante brecha de conocimiento entre los operadores y el funcionamiento real de los sistemas contra incendios. Según Martínez et al. (2021), la falta de capacitación formal puede provocar decisiones incorrectas durante una emergencia, como activaciones tardías o incapacidad para identificar fallas visibles, lo que agrava el riesgo operacional. Esta situación se observa también en la literatura internacional, donde se destaca que la ausencia de procedimientos estandarizados incrementa la probabilidad de fallos críticos (Khan & Abbasi, 2019).

En cuanto a patentes y desarrollos tecnológicos recientes, se han identificado dispositivos avanzados para monitoreo remoto de sistemas contra incendios, detección digital de fallas en bombas y sistemas automáticos de registro. Sin embargo, estas innovaciones no resuelven el problema principal identificado en plantas como Motherson Zitlaltépec: la falta de documentación actualizada, y de procedimientos y mantenimiento alineados a NFPA 20 y NFPA 25. De hecho, la revisión de patentes de la USPTO muestra que, aunque existen tecnologías que mejoran la automatización del mantenimiento, no abordan el caso particular de sistemas que operan bajo documentación obsoleta ni sustituyen la necesidad de personal capacitado (US Patent 10,998,321, 2021).

En síntesis, el estado actual del conocimiento demuestra que, aunque existen normas, estudios técnicos y desarrollos tecnológicos avanzados, el problema de fondo — mantenimiento preventivo desactualizado, falta de procedimientos claros y desconocimiento por parte de operadores— sigue sin resolverse en múltiples plantas industriales. Así, el

proyecto de actualización del mantenimiento preventivo del sistema contra incendios de la planta Motherson Zitlaltépec se ubica claramente dentro de una necesidad real, vigente y respaldada por la literatura técnica.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación Teórica

La presente investigación posee relevancia académica al contribuir al cuerpo de conocimiento relacionado con la gestión, mantenimiento y evaluación de sistemas contra incendios en entornos industriales, un campo con escasa documentación actualizada en México. Aunque las normas NFPA 20 y NFPA 25 establecen directrices claras para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios, numerosos estudios evidencian que la aplicación práctica de estas normas presenta amplias brechas operativas y metodológicas. En este sentido, el proyecto llena un vacío teórico al analizar de manera integral el estado real de un sistema industrial, contrastarlo con los requerimientos normativos y proponer un modelo actualizado de mantenimiento preventivo. El desarrollo de procedimientos estandarizados, formatos técnicos, KPIs y programas de capacitación aporta herramientas conceptuales que pueden ser replicadas en otras industrias, generando un marco metodológico aplicable a diversos contextos operativos. Así, el trabajo contribuye a fortalecer la literatura académica relacionada con ingeniería industrial, seguridad, mantenimiento y gestión del riesgo.

1.3.2 Justificación Social

El proyecto tiene un impacto social significativo, ya que los sistemas contra incendios son fundamentales para la protección de la vida humana dentro de instalaciones industriales. La planta Motherson Zitlaltépec concentra a cientos de trabajadores cuya seguridad depende del correcto funcionamiento de bombas contra incendio, válvulas seccionales, hidrantes y estaciones manuales. La falta de mantenimiento preventivo actualizado y la ausencia de conocimiento operativo por parte de los trabajadores representan riesgos directos para el personal. La actualización del plan de mantenimiento, la estandarización de procedimientos y la capacitación propuesta contribuyen directamente a crear un entorno laboral más seguro, reduciendo la probabilidad de incidentes mayores. Además, el proyecto promueve una

cultura de seguridad industrial que puede ser adoptada por otras plantas y sectores productivos de la región, generando beneficios a nivel comunitario e institucional.

1.3.3 Justificación Económica

Desde el punto de vista económico, la implementación de un plan de mantenimiento preventivo actualizado y alineado a la NFPA puede generar ahorros significativos para la empresa. Las fallas en bombas contra incendio, válvulas o hidrantes pueden ocasionar paros no programados, multas regulatorias, daños a maquinaria o pérdidas operativas derivadas de un incendio mal gestionado. La estandarización de inspecciones, la identificación temprana de fallas y el uso de KPIs contribuyen a reducir costos de reparación, mejorar la disponibilidad del sistema y prolongar la vida útil de los equipos. Asimismo, al garantizar el cumplimiento normativo, la planta disminuye riesgos legales y evita sanciones. El proyecto también impacta en la economía local al mejorar la estabilidad operativa de una empresa generadora de empleo en la región. En resumen, la inversión en mantenimiento preventivo se traduce en mejoras sustanciales en eficiencia, confiabilidad y costos operativos.

1.3.4 Justificación Ambiental

El adecuado funcionamiento de un sistema contra incendios también representa un beneficio ambiental importante. Los incendios industriales pueden ocasionar emisiones tóxicas, liberación de compuestos químicos peligrosos y afectaciones al aire, suelo y agua. La prevención y mitigación de estos eventos reduce la probabilidad de daños ambientales severos. Asimismo, la mejora en el mantenimiento de bombas, válvulas y tuberías contribuye a evitar fugas de agua, descargas innecesarias o pruebas mal ejecutadas, lo que disminuye el desperdicio de recursos hídricos. El proyecto promueve una operación más eficiente y responsable del sistema, alineada con prácticas sostenibles. En conjunto, la investigación fomenta un enfoque preventivo que protege el entorno natural y fortalece la responsabilidad ambiental de la empresa.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Realizar un diagnóstico integral del estado actual y proponer mejoras al plan de mantenimiento preventivo del sistema contra incendios en la planta Motherson Zitlaltépec,

con base en los lineamientos establecidos por las normativas NFPA 20 y NFPA 25, con el fin de garantizar su operatividad, seguridad, confiabilidad y cumplimiento normativo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el estado actual del sistema contra incendios de la planta Motherson Zitlaltépec, considerando equipos, instalaciones, documentación, registros y condiciones de operación.
- Analizar el grado de cumplimiento del mantenimiento existente en relación con los criterios establecidos en las normativas NFPA 20 (instalación y operación de bombas contra incendio) y NFPA 25 (inspección, prueba y mantenimiento de sistemas).
- Identificar deficiencias, riesgos, desviaciones o fallas dentro del mantenimiento preventivo actual que puedan comprometer la eficacia, seguridad u operabilidad del sistema contra incendios.
- Actualizar y diseñar formatos, checklists y documentos de control para la inspección, prueba y mantenimiento del sistema, alineados a los requerimientos de la NFPA 20 y NFPA 25.
- Desarrollar un plan de mejora para el mantenimiento preventivo, incorporando buenas prácticas de ingeniería y los requisitos establecidos en las normas NFPA aplicables.
- Proponer procedimientos estandarizados y metodologías de atención de fallas, que permitan una ejecución consistente, segura y trazable del mantenimiento del sistema contra incendios.
- Diseñar un programa básico de capacitación para operadores y personal involucrado, enfocado en el funcionamiento, operación y criterios esenciales del sistema contra incendios, con el fin de reforzar la respuesta ante emergencias.
- Establecer indicadores de desempeño (KPIs) que permitan evaluar la eficacia, cumplimiento y seguimiento del mantenimiento preventivo implementado.

1.5 Descripción de la empresa

Motherson Zitlaltépec es una empresa del sector industrial automotriz dedicada a la manufactura de componentes y arneses eléctricos para la industria automotriz global. Forma

parte del grupo internacional Motherson, uno de los proveedores de sistemas automotrices más importantes en el mundo. Su estructura organizacional se basa en procesos estandarizados orientados a la calidad, seguridad, eficiencia y satisfacción del cliente. La planta se encuentra ubicada en el municipio de Zitlaltépec, Tlaxcala. Esta zona industrial permite el acceso a corredores logísticos estratégicos de la región centro del país, facilitando la exportación, distribución y suministro eficiente a clientes internacionales. El giro principal de Motherson Mudra Zitlaltépec es la fabricación, ensamble y procesamiento de sistemas eléctricos y componentes automotrices, cumpliendo con estándares internacionales de calidad y normatividad aplicable a la industria automotriz. Sus procesos incluyen ensamble de arneses, inyección de plástico, moldeo, pruebas de calidad y logística integrada. La visión de la empresa es “Ser un proveedor de soluciones preferido a nivel mundial.” Esta visión resume el compromiso de la empresa por alcanzar reconocimiento global a través de la innovación, la calidad y la satisfacción total del cliente. La misión de la empresa se fundamenta en los siguientes principios:

- Asegurar el deleite de los clientes.
- Involucrar a los empleados como socios en progreso.
- Incrementar el valor para los accionistas.
- Establecer nuevos estándares en buena ciudadanía corporativa.

Esta misión refleja el enfoque de la empresa tanto en la satisfacción del cliente como en la calidad. Entre los valores principales que rigen la operación de Motherson Mudra se encuentran:

- Ser una organización dirigida a resultados.
- Mejorar continuamente para alcanzar la calidad de clase mundial y la satisfacción del cliente.
- Gestionar proactivamente los recursos con responsabilidad.
- Mantener altos estándares de desempeño.
- Garantizar una cultura organizacional basada en valores en toda la empresa.
- Reconocer las contribuciones de los empleados.
- Desarrollar habilidades y capacidades para un mayor desempeño en equipo.
- Actualizar constantemente los conocimientos y fomentar el intercambio de información en toda la organización.

Estos valores promueven una cultura sólida basada en desempeño, trabajo colaborativo, mejora continua y ética profesional.

El proyecto se lleva a cabo en el **Departamento de Mantenimiento**, unidad responsable de garantizar la funcionalidad, operatividad y continuidad de todos los equipos industriales. Sus funciones incluyen:

- Mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.
- Gestión de fallas y análisis de causas raíz.
- Supervisión de infraestructura crítica (eléctrica, hidráulica y mecánica).
- Operación y control del **sistema contra incendios** (bombas, hidrantes, válvulas, risers, estaciones manuales).
- Coordinación con producción para asegurar disponibilidad de maquinaria.

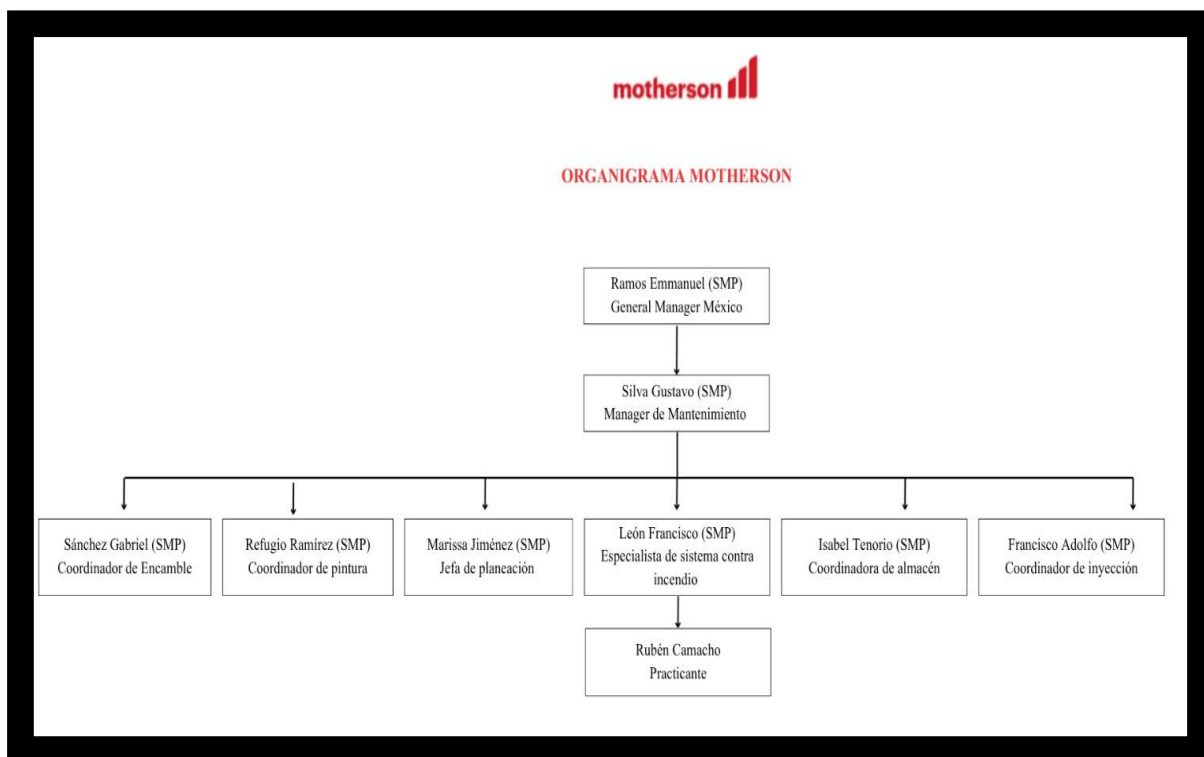


Ilustración 1. Organigrama Inyección

Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Introducción al Marco Teórico

El marco teórico representa la base conceptual y técnica que sustenta el análisis, diagnóstico y propuesta de actualización del sistema contra incendios en la planta Motherson Zitlaltépec. Este apartado integra los fundamentos necesarios para comprender la estructura, funcionamiento, normatividad y requerimientos de mantenimiento que rigen los sistemas de protección contra incendios basados en agua. Asimismo, permite contextualizar el problema detectado en la planta —documentación desactualizada, ausencia de procedimientos y falta de capacitación operativa— dentro del marco normativo y científico vigente.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), “el marco teórico es el cuerpo de conocimiento que fundamenta una investigación, ofrece una visión estructurada del tema y delimita conceptualmente el fenómeno estudiado” (p. 76). Bajo esta premisa, el presente capítulo articula conceptos provenientes de la ingeniería del mantenimiento, la seguridad industrial, la hidráulica aplicada, la gestión de riesgos y la normativa internacional NFPA, de modo que se establezca una estructura sólida para el desarrollo del proyecto.

Dentro de la ingeniería de seguridad y mantenimiento, autores como García Garrido (2017) señalan que “la comprensión técnica de los sistemas y su comportamiento bajo condiciones operativas es indispensable para garantizar su confiabilidad” (p. 22). Esto cobra especial importancia en sistemas contra incendios, donde la falla o indisponibilidad de la bomba principal, válvulas seccionales, hidrantes o estaciones manuales puede comprometer la integridad del personal y de las instalaciones.

La normativa NFPA constituye el eje regulatorio fundamental para esta investigación. La NFPA 25 (2023) establece que “toda instalación debe mantener registros actualizados de inspección, prueba y mantenimiento como evidencia de la condición operativa del sistema” (p. 3). Por su parte, la NFPA 20 (2022) determina los requisitos de diseño, instalación y desempeño de bombas contra incendio, indicando que “la bomba debe ser capaz de suministrar su capacidad nominal y operar de manera confiable durante emergencias” (p. 1). Estas disposiciones permiten comprender el grado de cumplimiento requerido y la importancia de actualizar los formatos y procedimientos existentes.

Asimismo, la teoría del riesgo industrial aporta una perspectiva indispensable, ya que considera que la vulnerabilidad del sistema está asociada no solo al estado físico de sus

componentes, sino también a la capacitación del personal. Como señala Hollnagel (2014), “la seguridad depende tanto del diseño del sistema como de la habilidad humana para operarlo dentro de sus límites” (p. 22). En el caso de Motherson, la falta de conocimiento por parte de los operadores respecto al funcionamiento del sistema contra incendios representa un riesgo operativo significativo.

En síntesis, este apartado proporciona el sustento teórico necesario para analizar las condiciones actuales del sistema contra incendios, identificar desviaciones normativas, fundamentar la necesidad de actualización documental y justificar la implementación de un plan de mantenimiento alineado a NFPA 20 y NFPA 25. A partir de esta base conceptual, los siguientes subapartados desarrollarán los elementos históricos, técnicos y normativos que robustecen la investigación.

2.2 Historia y Evolución de los Sistemas Contra Incendios

La evolución de los sistemas contra incendios ha estado estrechamente vinculada con el desarrollo urbano, la ingeniería hidráulica y las necesidades de protección estructural. Según Drysdale (2011), “la historia del control del fuego está directamente relacionada con el progreso técnico y la capacidad humana de diseñar sistemas que mitiguen el riesgo” (p. 4). Los primeros esfuerzos organizados surgieron en la antigua Roma, donde existían brigadas especializadas y dispositivos manuales rudimentarios.

Durante los siglos XVII y XVIII comenzaron a desarrollarse las primeras bombas manuales accionadas por palancas, lo que marcó el inicio de la ingeniería aplicada a la extinción de incendios. Con el advenimiento de la Revolución Industrial, la concentración de fábricas y almacenes aumentó el riesgo, impulsando mejoras en los sistemas de suministro hidráulico y válvulas de control. De acuerdo con Grimwood, Fogarty y Desmet (2020), “la industrialización no solo incrementó la frecuencia de incendios, sino que motivó la creación de sistemas más confiables y resistentes” (p. 12).

El hito más importante en la modernización de estos sistemas ocurrió en 1896 con la creación de la National Fire Protection Association (NFPA). La NFPA consolidó estándares técnicos que establecieron parámetros uniformes para la instalación, inspección y mantenimiento de sistemas hidráulicos. Su aporte permitió pasar de métodos artesanales a sistemas técnicamente regulados. Como señala NFPA (2023): “los sistemas de protección contra

incendios deben cumplir criterios mínimos que garanticen su disponibilidad y desempeño bajo condiciones críticas” (p. 1).

Durante el siglo XX, el desarrollo de bombas centrífugas especializadas, tuberías de acero, válvulas seccionales y sistemas automáticos de detección consolidó la estructura moderna de los sistemas hidráulicos de extinción. La incorporación de energía eléctrica, sensores y técnicas de diseño optimizado fortaleció la confiabilidad operativa. Con la llegada del siglo XXI, los sistemas contra incendios integran automatización, monitoreo remoto, controladores digitales y mejores métodos de prueba y mantenimiento, alineados con normas como NFPA 20 y NFPA 25.

En México, la adopción de estándares internacionales ha fortalecido los programas de mantenimiento y prevención en sectores industriales, especialmente en plantas automotrices donde la continuidad operativa es crítica. Tesis académicas del ámbito nacional —como López (2019) en el IPN— demuestran que “la ausencia de mantenimiento documentado constituye una de las principales causas de fallas funcionales en sistemas contra incendios de instalaciones industriales” (p. 58).

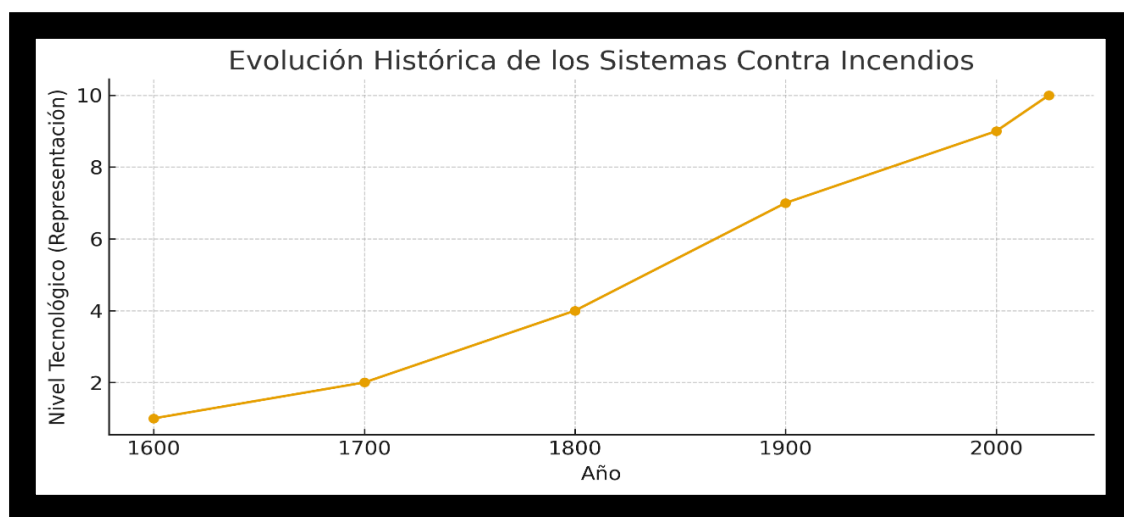


Ilustración 1.-Evolución histórica de los sistemas contra incendios desde el siglo XVII hasta la actualidad.

2.3 Conceptos Fundamentales del Mantenimiento Industrial

El mantenimiento industrial es un conjunto de técnicas, estrategias y actividades que permiten preservar equipos, máquinas y sistemas en condiciones óptimas de operación. Constituye un elemento esencial en cualquier instalación industrial, particularmente en

sistemas críticos como los contra incendios, donde una falla puede comprometer la integridad del personal, la infraestructura y la continuidad operativa. De acuerdo con García Garrido (2017), “el mantenimiento industrial comprende las acciones destinadas a conservar o restablecer un bien a un estado en el que pueda realizar la función requerida” (p. 22). Esta definición establece la base conceptual de las prácticas modernas de mantenimiento y destaca la importancia de ejecutar intervenciones planificadas y documentadas. En sistemas contra incendios, la aplicación del mantenimiento adquiere un carácter normativo, ya que los estándares internacionales requieren inspecciones, pruebas y mantenimiento periódico. La NFPA 25 (2023) señala que “la inspección, prueba y mantenimiento son esenciales para asegurar la confiabilidad continua de los sistemas basados en agua” (p. 1). Cualquier desviación en estas tareas incrementa la probabilidad de fallas durante una emergencia real.

2.3.1 Tipos de mantenimiento aplicados al sistema contra incendios

Existen tres tipologías principales de mantenimiento:

a) Mantenimiento Correctivo Consiste en intervenir únicamente después de que el equipo presenta una falla.

Knezevic (1997) describe que “el mantenimiento correctivo se lleva a cabo tras la falla de un equipo, con el objetivo de restaurarlo lo más pronto posible” (p. 73). En sistemas contra incendios, esta estrategia es riesgosa y debe evitarse como método principal.

b) Mantenimiento Preventivo Se basa en actividades programadas para reducir la posibilidad de fallas. Moubray (1997) establece que “las actividades preventivas permiten minimizar la probabilidad de falla a través de inspecciones y tareas programadas” (p. 112). Este mantenimiento es estrictamente requerido por NFPA 25.

c) Mantenimiento Predictivo Utiliza parámetros reales del equipo (temperatura, vibración, presión). Mobley (2002) afirma que “el mantenimiento predictivo se basa en monitorear la condición real del equipo para detectar variaciones anormales” (p. 5).

2.3.2 Importancia del mantenimiento en sistemas contra incendios

La confiabilidad de bombas, válvulas, tuberías y redes hidráulicas depende directamente de la calidad del mantenimiento. La NFPA 25 (2023) establece que las inspecciones y pruebas son esenciales para garantizar la funcionalidad del sistema.

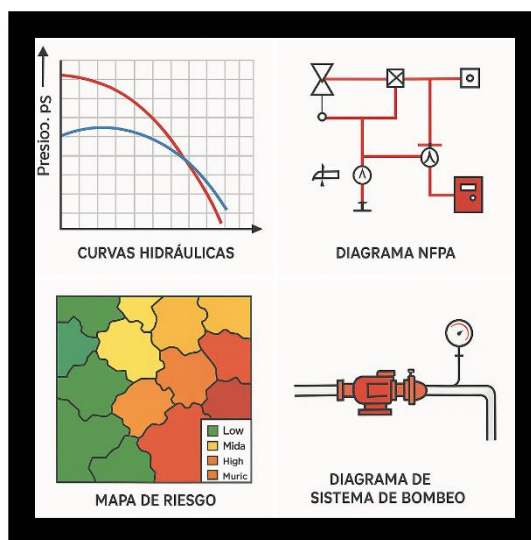


Ilustración 3. Ejemplos de (curvas hidráulicas, diagramas NFPA, mapas de riesgo, diagramas de sistema de bombeo, etc.) utilizadas en el mantenimiento de los SCI

2.4 Hidráulica Aplicada a Sistemas Contra Incendios

La hidráulica es el fundamento teórico y operativo que permite comprender el funcionamiento de los sistemas contra incendios basados en agua, ya que estos dependen directamente de las relaciones entre caudal, presión, pérdidas por fricción, altura dinámica total y eficiencia de bombeo. Según Finnemore y Franzini (2002), “la hidráulica aplicada estudia el flujo de líquidos reales en tuberías y sistemas de bombeo, proporcionando las ecuaciones necesarias para su diseño y operación segura” (p. 15). Esto implica que el rendimiento de bombas, válvulas, tuberías y redes presurizadas no puede evaluarse sin considerar la teoría de flujo interno.

Los sistemas contra incendios utilizan bombas centrífugas cuya finalidad es entregar un caudal específico a una presión determinada. La NFPA 20 (2022) establece que una bomba contra incendio debe ser capaz de suministrar su caudal nominal al 100% de la presión de diseño, y al mismo tiempo proporcionar el 150% del caudal nominal a no menos del 65% de la presión nominal (NFPA 20, 2022, p. 17). Estas condiciones definen la curva característica de la bomba, fundamental para determinar si cumple o no con los requisitos normativos.

La energía disponible en un sistema hidráulico se expresa mediante la ecuación de Bernoulli, la cual permite establecer el equilibrio entre presión, velocidad y energía potencial. Como señala Çengel y Cimbala (2006), “la ecuación de Bernoulli es esencial para analizar el

comportamiento de líquidos en movimiento, especialmente cuando existen componentes como bombas y pérdidas asociadas a la fricción” (p. 221). Estas pérdidas por fricción se calculan mediante fórmulas como Darcy–Weisbach, las cuales dependen del material de la tubería, la rugosidad y la velocidad del flujo.

En un sistema de protección contra incendios, una presión insuficiente puede generar deficiencias graves: caudal inadecuado en hidrantes, incapacidad para elevar agua hacia risers, o fallas en el funcionamiento de rociadores automáticos. De acuerdo con Grimwood, Fogarty y Desmet (2020), “las fallas hidráulicas representan una de las causas más comunes de inoperatividad en sistemas contra incendios, especialmente cuando no se mantienen las condiciones de presión mínima requeridas” (p. 44).

La presión inicial es mantenida por la bomba jockey, cuyo papel es compensar pequeñas pérdidas de presión por micro fugas o cambios en la red. La bomba principal solo arranca cuando la caída de presión supera un umbral definido por el tablero controlador. La NFPA 20 enfatiza este proceso al indicar que “la bomba principal debe arrancar automáticamente cuando la presión en la red cae por debajo del punto establecido” (NFPA 20, 2022, p. 33).

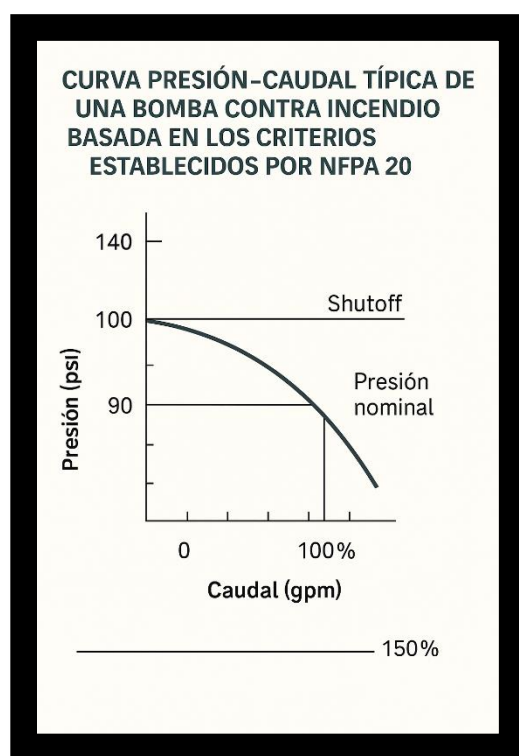


Ilustración 2. Gráfica curva presión-caudal con los valores clave que exige NFPA 20

2.5 Teoría del Riesgo Industrial

La teoría del riesgo industrial constituye uno de los pilares esenciales para comprender y gestionar la seguridad dentro de instalaciones productivas que operan con infraestructura crítica, como lo es un sistema contra incendios. Según la NFPA 551 (2019), “el riesgo se define como la combinación de la probabilidad de que ocurra un evento no deseado y las consecuencias que dicho evento puede generar” (p. 5). Bajo esta perspectiva, el sistema contra incendios debe evaluarse no solo por su diseño, sino por los riesgos asociados a su posible falla.

De acuerdo con Manuele (2014), “el análisis de riesgo permite identificar condiciones inseguras, fallas potenciales y vulnerabilidades que, de materializarse, pueden derivar en pérdidas humanas, económicas u operacionales” (p. 27). Esta afirmación es especialmente relevante para la planta Motherson Zitlaltépec, ya que el sistema contra incendios cumple un rol determinante en la protección de maquinaria, personal, producto y operaciones.

El riesgo en sistemas contra incendios puede clasificarse en tres ejes fundamentales:

1. Riesgo técnico

Asociado a fallas de equipos como bombas, válvulas, tuberías, hidrantes, risers o cabezales. La NFPA 25 (2023) establece que “cualquier componente que no cumpla con su función prevista incrementa significativamente el riesgo global del sistema” (p. 10).

2. Riesgo humano

Relacionado con errores de operación, falta de capacitación o desconocimiento de los procedimientos.

Reason (2000) señala que “la mayoría de los accidentes industriales son producto de condiciones latentes combinadas con fallas activas del personal” (p. 32).

3. Riesgo organizacional

Conectado con la ausencia de procedimientos, registros o planes formales. Hopkins (2012) explica que “los riesgos sistémicos se amplifican cuando las organizaciones no cuentan con controles suficientes para anticipar fallas críticas” (p. 14).

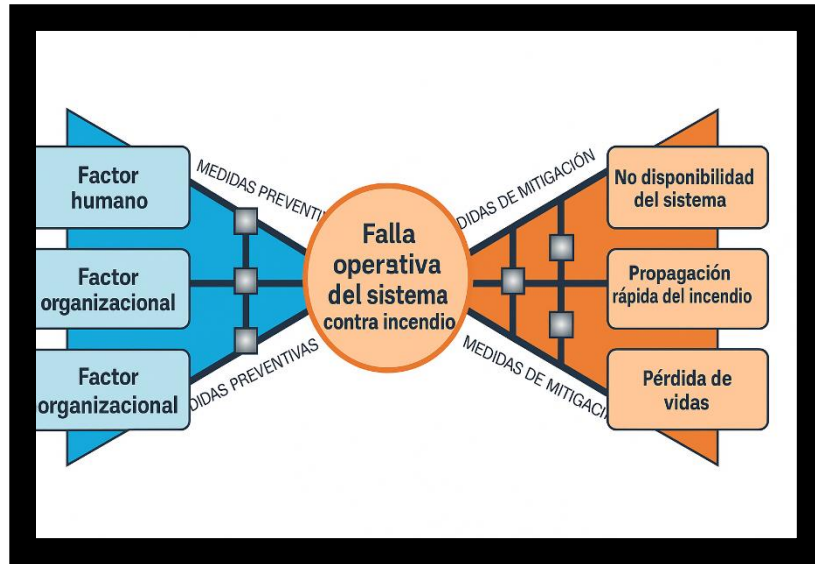


Ilustración 3. Diagrama Bow-Tie del riesgo asociado a la falla del sistema contra incendios.

2.6 Modelos Avanzados de Gestión del Mantenimiento

Los modelos de gestión del mantenimiento han evolucionado para optimizar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de los activos industriales. Entre los enfoques modernos más relevantes destacan TPM (Total Productive Maintenance) y RCM (Reliability-Centered Maintenance), los cuales son utilizados internacionalmente en industrias automotrices, manufactureras y de alta exigencia operativa como Motherson.

Según Nakajima (1988), “el TPM busca maximizar la eficiencia global de los equipos mediante la participación activa de todo el personal” (p. 14). Este modelo promueve la transición del mantenimiento correctivo hacia estrategias proactivas, evitando fallas inesperadas y reduciendo pérdidas por paros no planificados.

Por otro lado, Moubray (1997) define el RCM como “un proceso sistemático para determinar las tareas de mantenimiento necesarias para asegurar que los activos continúen cumpliendo sus funciones en el contexto operativo actual” (p. 32). Su enfoque está basado en analizar funciones, modos de falla, causas raíz y efectos, lo cual resulta crítico para equipos esenciales como bombas contra incendio, válvulas seccionales, motores diésel y redes hidráulicas.

Los modelos TPM y RCM se complementan entre sí: mientras TPM genera disciplina operativa y estandarización, RCM permite priorizar tareas de mantenimiento según riesgo, severidad y probabilidad de falla. Aplicar ambos modelos en el sistema contra incendios de

Motherson Zitlaltepec asegura una transición ordenada hacia un esquema de mantenimiento preventivo estructurado y compatible con las normativas NFPA 20 y NFPA 25.

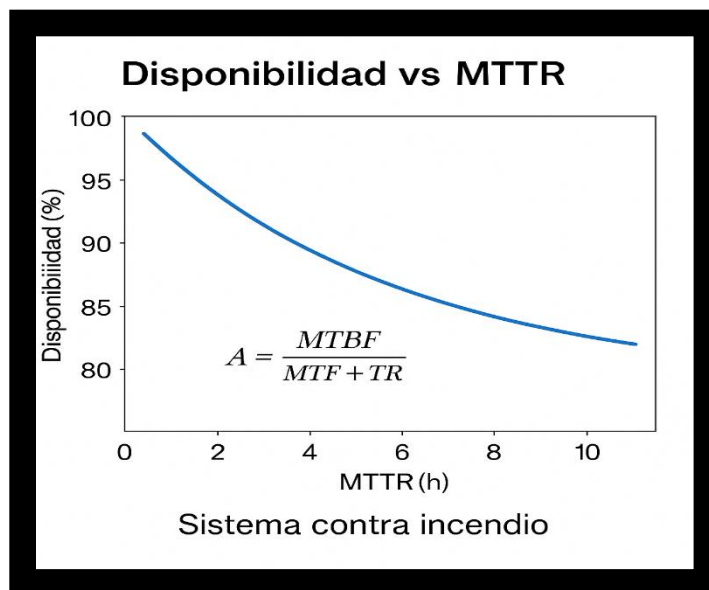


Ilustración 4. Curva de Disponibilidad vs MTTR

2.7 Sistema Contra Incendios: Componentes, Funcionamiento y Requerimientos Normativos (NFPA 20 / NFPA 25)

Los sistemas contra incendios basados en agua constituyen uno de los elementos más importantes dentro de la seguridad industrial. Su función principal es proporcionar una fuente confiable de agua presurizada para controlar o suprimir un incendio en sus primeras etapas. Para ello, estos sistemas integran bombas, válvulas, tuberías, hidrantes, estaciones manuales, risers y elementos de monitoreo que deben operar de manera conjunta y bajo estrictos parámetros técnicos.

La normativa internacional establece los criterios mínimos para su instalación y mantenimiento. De acuerdo con la NFPA 20 (2022), “las bombas contra incendios deben instalarse y mantenerse conforme a esta norma para asegurar un suministro de agua continuo, confiable y adecuado durante una emergencia” (p. 1). Por su parte, la NFPA 25 (2023) indica que “la inspección, prueba y mantenimiento periódico son esenciales para mantener la funcionalidad de los sistemas basados en agua” (p. 3). Ambas normas sirven como referencia obligatoria en la industria moderna.

2.7.1 Componentes principales del sistema contra incendios

Un sistema estándar contra incendios como el de la planta Motherson Zitlaltépec incluye los siguientes elementos, cada uno con funciones específicas:

a) Bomba principal contra incendio

Es el corazón del sistema. Su función es suministrar el caudal y presión necesarios para garantizar una respuesta adecuada. Su diseño depende del flujo nominal requerido, la presión demandada y la altura dinámica total. Según Finnemore & Franzini (2002), “el flujo en una bomba está determinado por la curva característica que relaciona el caudal con la presión disponible” (p. 84).

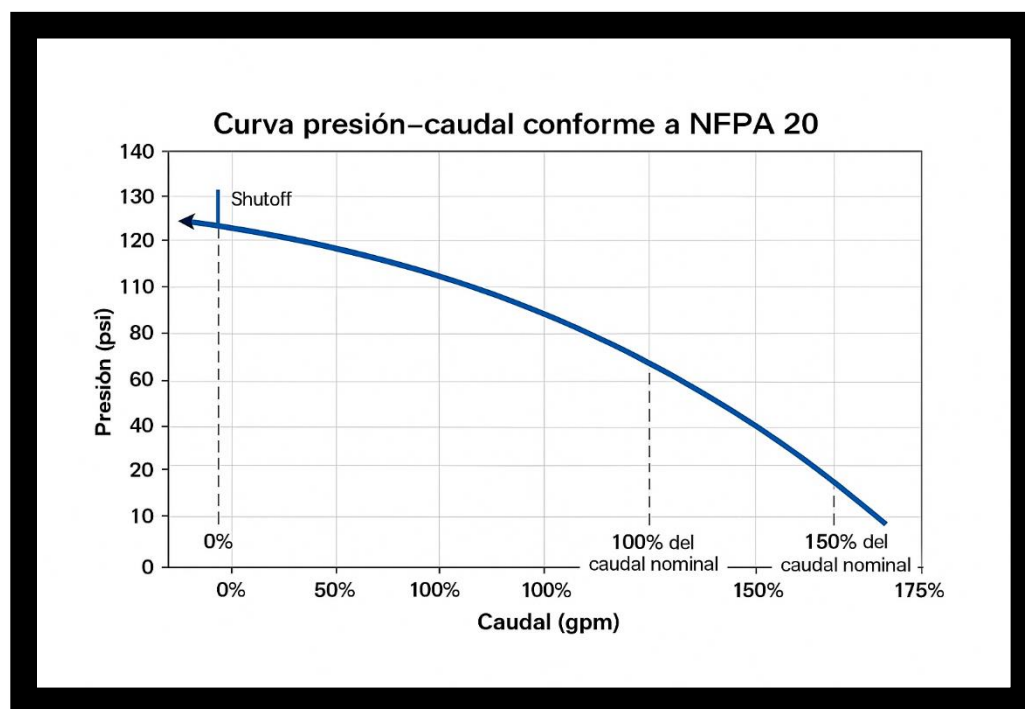


Ilustración 5. curva presión-caudal conforme a NFPA 20 para bomba contra incendio

b) Bomba jockey o de mantenimiento de presión

Su función es compensar pequeñas fugas en la red para evitar que la bomba principal arranque innecesariamente. Opera a un caudal mucho menor, pero con una presión ligeramente mayor que la bomba principal.

c) Succión desde cisterna o tanque

Elemento crítico del sistema. La NFPA 20 establece que “la succión debe estar libre de obstrucciones y garantizar un suministro continuo de agua sin turbulencias que afecten el rendimiento de la bomba” (NFPA 20, 2022, p. 37).

d) Válvulas OS&Y y válvulas de retención

Las válvulas OS&Y permiten el aislamiento del sistema y deben mantenerse completamente abiertas para garantizar flujo continuo. La NFPA 25 requiere su inspección mensual y prueba funcional trimestral.

e) Tubería de descarga y red hidráulica

Conduce el flujo hacia hidrantes, risers y estaciones manuales. Su diseño debe reducir pérdidas de carga y garantizar presión mínima en los puntos terminales.

f) Hidrantes y estaciones manuales

Permiten la intervención humana en caso de incendio. La NFPA 25 indica pruebas de flujo anuales con registro documentado.

g) Riser o columna montante

Es la tubería vertical que alimenta a la red interior. Debe contar con manómetros, conexiones y válvulas de control conforme a NFPA 14 y NFPA 25.

2.7.2 Funcionamiento general del sistema

El sistema opera bajo un principio simple: mantener una presión constante mediante la bomba jockey. Cuando la presión cae por debajo del umbral, la bomba principal arranca automáticamente. Si la demanda aumenta (por ejemplo, apertura de hidrante), la bomba continúa suministrando el caudal necesario.

2.7.3 Requerimientos clave de NFPA 20

La NFPA 20 define parámetros obligatorios como:

- La bomba debe entregar 100% del caudal nominal a presión nominal.
- Debe entregar 150% del caudal nominal a $\geq 65\%$ de la presión nominal.
- La succión debe ser estable, con líneas rectas y sin obstrucciones.
- Deben existir válvulas OS&Y accesibles y en posición abierta.
- Se requiere un controlador eléctrico o diésel para asegurar arranque automático.

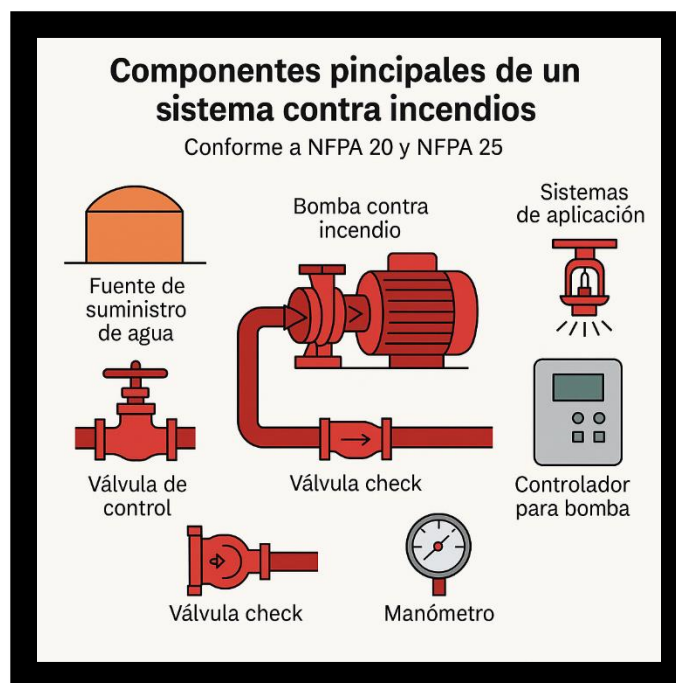


Ilustración 6. Componentes principales de un sistema contra incendios conforme a NFPA 20 y NFPA 25.

2.7.4 Importancia de la conformidad normativa

La falta de cumplimiento con NFPA 20 y 25 puede ocasionar:

- Arranques fallidos
- Baja presión en hidrantes
- Incapacidad de alimentar rociadores o estaciones manuales
- Riesgos operativos severos
- Multas y sanciones regulatorias

Por ello, el sistema contra incendios debe mantenerse documentado, actualizado y operando conforme a estándares internacionales.

2.8 Periodicidades establecidas por NFPA 25

La NFPA 25 define intervalos específicos:

Tabla 1. Periodo de mantenimiento de componentes del SCI NFPA (2025)

Componente	Inspección	Prueba	Mantenimiento
Bombas contra incendio	Semanal	Anual (flujo)	Anual
Válvulas OS&Y	Mensual	Trimestral	Anual
Manómetros	Semanal	Anual	Reemplazo cada 5 años

<i>Hidrantes</i>	Mensual	Anual (flujo)	Anual
<i>Red general</i>	Diaria / semanal	Anual	Según condición

2.8.1 Fallas más frecuentes en sistemas contra incendios (según NFPA 25)

“Las fallas funcionales más comunes en sistemas contra incendios incluyen: bombas que no arrancan, válvulas cerradas inadvertidamente, obstrucciones en tuberías y manómetros dañados.” (NFPA 25, 2023, p. 31). Estas fallas coinciden con hallazgos reales en la planta.

Frecuencia estimada de fallas (basada en tendencias NFPA 25)		
Componente	Tendencia de falla	Frecuencia estimada
Bomba contra incendio (eléctrica o diésel)	Fallas por contacto, relés, cableado	1–3 % anual
Arranque de la bomba diésel	Baterías, motor, combustible	3–6 % anual
Sello mecánico	Desgaste, fuga	5–8 % anual
Acoplamiento bomba-motor	Desalineación	2–4 % anual
Cavitación / baja succión	Problemas hidráulicos	1–2 % anual
Bomba jockey	Falla por desgaste	4–7 % anual
Encendidos excesivos por fugas en el sistema	Encendidos excesivos por fugas en el sistema	Muy común (hasta 20 % de sistemas)
Válvulas de control (OS&Y, mariposa, check)	Falla más común encontrada en	10–15 %
Válvula OS&Y cerrada accidentalmente	Corrosión, suciedad	5–10 % anual
Supervisión eléctrica inactiva	Cableado o switch defectuoso	3–6 % anual
Tuberías e hidrantes	Corrosión interna	5–12 % anual (depende de vueltas)
Fugas en uniones	Fugas en uniones	3–5 % anual
Sistemas de rociadores	Extremadamente rara (<1 %)	≤10% de instalaciones inspeccionadas
Rociadores obstruidos, pintados o dañados	Muy común: 10–20 % de los hallazgos	8–15 % anual
Instrumentación (manómetros, alarmas, sensores)	Manómetro fuera de rango o sin calibración	8–15 % anual

Ilustración 7. Frecuencia estimada de fallas basada en tendencias comunes de NFPA 25.

2.9 Requerimientos de NFPA 20 aplicados a Bombas Contra Incendio.

La norma NFPA 20: Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection es el estándar internacional más reconocido para la instalación, operación y desempeño de bombas contra incendio. Esta norma proporciona los criterios mínimos para asegurar que los sistemas de bombeo proporcionen un suministro de agua confiable, continuo y con la presión suficiente para atender una emergencia real.

Según la propia NFPA 20 (2022), “el propósito de esta norma es proporcionar requisitos para la instalación de bombas estacionarias para protección contra incendios que aseguren un suministro de agua confiable y adecuado” (p. 1). Este principio normativo establece la base técnica sobre la cual deben evaluarse las bombas instaladas en cualquier planta industrial, incluyendo Motherson Zitlaltépec.

2.9.1 Requisitos de rendimiento de la bomba

La norma establece condiciones precisas de operación que permiten evaluar si la bomba instalada cumple con los parámetros mínimos aceptables. En la sección 4.7.7, la NFPA 20 (2022) indica textualmente que “las bombas contra incendio deben ser capaces de entregar el 150% del caudal nominal a no menos del 65% de la presión nominal” (p. 17). Este criterio es uno de los parámetros más importantes, ya que asegura que la bomba pueda sostener un flujo suficiente aun cuando las condiciones de demanda sean elevadas o existan pérdidas por fricción en la red.

Asimismo, la norma señala que el desempeño real de la bomba debe verificarse mediante pruebas anuales con medidores certificados. Estas pruebas deben incluir presión en succión, presión en descarga, caudal suministrado y comportamiento del motor.

2.9.2 Componentes esenciales del sistema de bombeo

De acuerdo con Finnemore y Franzini (2002), “el comportamiento de una bomba centrífuga se describe mediante su curva característica, que relaciona caudal y presión disponible” (p. 84). Por ello, la correcta selección y operación de la bomba principal dependen tanto del diseño hidráulico como de los criterios normativos de NFPA 20.

Entre los componentes esenciales se incluyen:

- Bomba principal contra incendio
- Bomba jockey
- Válvulas OS&Y en succión y descarga
- Válvula de retención

- Tubería de succión desde cisterna
- Tubería de descarga a la red industrial
- Controladores eléctricos o diésel
- Manómetros y accesorios

2.9.3 Controladores y arranque automático

La NFPA 20 dedica un capítulo completo a los controladores, determinando que su operación debe garantizar que la bomba arranque de manera automática ante cualquier caída de presión en la red.

Esto es fundamental, ya que si la presión baja por la apertura de un hidrante, por una fuga o por la activación de un sistema automático, la bomba debe entrar en funcionamiento sin intervención humana.

La norma recalca que el controlador debe estar dedicado exclusivamente a la bomba contra incendio.

2.9.4 Pruebas obligatorias

Las pruebas prescriptas por NFPA 20 incluyen:

- Prueba de flujo
- Prueba de rendimiento total
- Verificación de presión estática y residual
- Revisión de vibración y alineación
- Verificación de amperaje del motor

Estas pruebas deben documentarse y archivar, y son obligatorias para demostrar cumplimiento normativo.

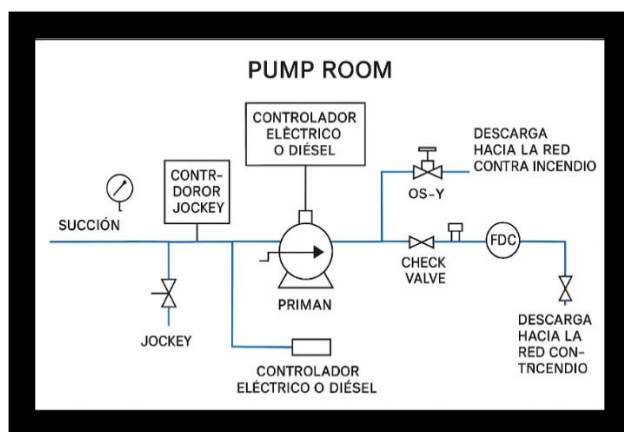


Ilustración 8. Diagrama del sistema de bombeo (NFPA 20)

Capítulo III: Metodología

3.1 Metodología del Proyecto

ACTIVIDAD (9)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Revisión documental y normativo (Semana 1)	P																
	R																
Planificación del diagnóstico (Semana 2)	P																
	R																
Inspección visual y levantamiento en sitio (Semanas 3–4)	P																
	R																
Revisión de registros de mantenimiento (Semana 5)	P																
	R																
Entrevistas al personal involucrado (Semana 6)	P																
	R																
Análisis de cumplimiento normativo (Semana 7–8)	P																
	R																
Evaluación de riesgos (Semana 9)	P																
	R																
Diseño del plan de mejora (Semana 10–11)	P																
	R																
Diseño de procedimientos y formatos (Semana 12)	P																
	R																
Revisión del plan y validación interna (Semana 13)	P																
	R																
Capacitación (Semana 14)	P																
	R																
Documentación final y entrega del proyecto (Semanas 15–16)	P																
	R																
OBSERVACIONES																	

Ilustración 9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES SEGUN ANTEPROYECTO

La metodología del presente proyecto se estructura bajo un enfoque normativo, combinando elementos de diagnóstico técnico, análisis documental, cumplimiento normativo y diseño de propuestas de mejora. Este enfoque integra metodologías reconocidas en ingeniería de mantenimiento (RCM – Reliability Centered Maintenance, TPM – Total Productive Maintenance) y los lineamientos obligatorios de las normas NFPA 20 y NFPA 25, asegurando que el desarrollo del proyecto sea riguroso, replicable y orientado a resultados.

El proceso metodológico se diseñó de manera alineada al **cronograma institucional del TecNM**, distribuyendo las actividades en 16 semanas. Cada etapa responde directamente al objetivo general del proyecto: *diagnosticar el estado actual y proponer mejoras al plan de mantenimiento preventivo del sistema contra incendios de la planta Motherson Zitlaltépec*. A continuación se describe detalladamente cada fase.

3.1.1 Revisión documental y normativa (Semana 1)

Esta etapa inicial consiste en la recopilación, análisis y clasificación de toda la documentación disponible en la planta, incluyendo:

- Formatos de mantenimiento preventivo existentes (año 2016).
- Bitácoras de inspección.
- Reportes de incidencias del sistema contra incendios.
- Procedimientos operativos actuales, si existen.
- Especificaciones técnicas de los equipos instalados.

De manera paralela, se revisarán las normas aplicables:

- NFPA 20 (Instalación de bombas contra incendio)
- NFPA 25 (Inspección, prueba y mantenimiento)

La finalidad de esta fase es identificar inconsistencias, áreas desactualizadas y brechas normativas iniciales, así como determinar qué información falta y debe ser recabada en campo.

3.1.2 Planificación del diagnóstico técnico (Semana 2)

En esta fase se estructura el plan de levantamiento físico, que contempla:

- Rutas de inspección.
- Checklist técnico preliminar.
- Identificación de equipos a evaluar (bombas, tablero controlador, jockey, válvulas, hidrantes, risers, estaciones manuales).
- Instrumentos mínimos para la toma de datos (manómetros portátiles, registro fotográfico, formatos preliminares).

Esta planificación permite asegurar que el levantamiento cumpla con criterios de trazabilidad y profesionalismo, aun cuando la información previa de la empresa sea limitada.

3.1.3 Inspección visual y levantamiento en sitio (Semanas 3–4)

Consiste en una verificación física completa del sistema, registrando:

- Estado de bombas y motor principal.
- Condiciones de la bomba jockey.
- Conexiones eléctricas y tablero contra incendio.
- Estado de tuberías, uniones, válvulas OS&Y, válvulas de retención.
- Funcionamiento de hidrantes, mangueras y gabinetes.
- Integridad de los risers y líneas presurizadas.
- Condiciones de señalización y accesibilidad.

Esta inspección sigue criterios de NFPA 25, incluyendo:

- Pruebas de flujo (cuando sea posible).
- Revisión de presiones.
- Estado mecánico y físico observable.

Todos los hallazgos se documentan con fotografías, notas técnicas y observaciones normativas.

3.1.4 Revisión de registros de mantenimiento (Semana 5)

El propósito es evaluar si las actividades realizadas en la planta cumplen con la periodicidad exigida en NFPA 25:

- Semanales (bombas)
- Mensuales (válvulas)
- Trimestrales (alarmas y dispositivos)
- Anuales (pruebas de flujo, hidrantes, sistemas completos)

Dado que la documentación existente está desactualizada (2016), se generará un análisis comparativo que muestre las brechas entre:

- Mantenimiento actual
- Mantenimiento requerido por norma
- Buenas prácticas de RCM y TPM

3.1.5 Entrevistas al personal involucrado (Semana 6)

Se realizarán entrevistas estructuradas al personal de mantenimiento y al personal operativo de turno para conocer:

- Nivel de capacitación en sistemas contra incendios.
- Conocimiento del funcionamiento de bombas y válvulas.
- Procedimientos internos que aplican en caso de falla.
- Opinión respecto a puntos críticos o recurrentes.

Esto es fundamental porque la empresa presenta una brecha en el conocimiento operativo del sistema, y el diagnóstico debe considerar el nivel de competencia del personal.

3.1.6 Análisis de cumplimiento normativo (Semanas 7–8)

Se elabora un informe técnico donde se evalúan:

- Condiciones físicas vs NFPA 25.
- Instalación de bombas vs NFPA 20.
- Pruebas realizadas vs requeridas.

- Registros disponibles vs requeridos.
- Seguridad, señalización y operación del sistema.

Esta fase será el eje para justificar las mejoras que se plantearán posteriormente.

3.1.7 Evaluación de riesgos (Semana 9)

Utilizando herramientas de ingeniería de riesgo, se aplicarán:

- Matriz probabilidad–severidad (NFPA 551)
- Bow-Tie Analysis
- Mapa de criticidad del sistema

Esto permitirá jerarquizar las fallas y definir qué elementos del sistema contra incendio son críticos y requieren intervención prioritaria.

3.1.8 Diseño del plan de mejora (Semanas 10–11)

A partir del diagnóstico se desarrollará un plan que incluirá:

- Nuevo programa de mantenimiento preventivo (NFPA 25).
- Estandarización de pruebas semanales de bomba (NFPA 20).
- Indicadores mínimos (KPIs) para evaluar el sistema.
- Recomendaciones técnicas de adecuación o sustitución (si aplica).

3.1.9 Diseño de procedimientos y formatos (Semana 12)

Incluye la creación de formatos nuevos:

- Checklist de mantenimiento preventivo
- Formatos de prueba de bomba
- Formatos de supervisión
- Registro fotográfico estructurado
- Procedimientos escritos (SOP)

Todos alineados al TecNM y a NFPA.

3.1.10 Capacitación (Semana 14)

Se elaborará un manual básico y una breve capacitación dirigida al personal, considerando:

- Funcionamiento del sistema
- Interpretación de alarmas
- Arranque automático y manual de la bomba
- Procedimiento ante fallas
- Procedimiento de reporte

3.1.11 Documentación final y entrega del proyecto (Semanas 15–16)

Consolidación del informe completo:

- Diagnóstico general
- Evidencia fotográfica
- Registros y formatos nuevos
- Propuesta de mejora
- Evaluación del riesgo
- Conclusiones técnicas

3.2 Diagnóstico técnico del sistema de protección contra incendios de Motherson Zitlaltepec

El diagnóstico técnico constituye la fase central de evaluación del desempeño del sistema de protección contra incendios de la planta Motherson Zitlaltepec. Su objetivo fue identificar el estado operativo real del sistema, contrastándolo con los requerimientos de mantenimiento, inspección y pruebas establecidos por NFPA 25 (2023) y los criterios de aceptación para sistemas automáticos de combate contra incendios integrados con bombas, tuberías, válvulas y alarmas (NFPA 20, 2022; NFPA 72, 2022).

Para ello se empleó un enfoque híbrido con levantamiento físico, análisis documental, evidencia fotográfica, entrevistas al personal, así como revisión de los formatos históricos de inspección. Este diagnóstico incluyó los siguientes subsistemas:

- ✓ Sistemas húmedos y rociadores automáticos
- ✓ Sistemas hidrantes exteriores e interiores
- ✓ Estaciones manuales de alarma de incendio
- ✓ Red de tuberías y válvulas seccionales/OS&Y
- ✓ Tanque de almacenamiento de agua y succión
- ✓ Bombeo contra incendio (eléctrica, diésel, y jockey)
- ✓ Detectores y tableros de alarma Honeywell/Notifier y Minimax

3.2.1 Inspección documental (Checklists existentes vs. NFPA 25)

Se revisaron los checklists actualmente utilizados por la planta, comprobándose que:

Tabla 2. Inspección de documentación periódica de mantenimiento

Tipo de equipo	¿Sí existe checklist	Observaciones
Estaciones manuales	✓	Falta incluir prueba funcional mensual (requerida por NFPA 72).
Hidrantes	✓	No considera flujo, accesibilidad obstruida y torque de válvulas.
Bombas contra incendio	✗	No existe formato de pruebas semanal/mensual/anual, incumpliendo NFPA 25 Cap. 8.
Válvulas seccionales/OS&Y	✓	Se registra apertura/cierre pero no prueba de drenaje de 2", requerida por NFPA 25 (Cap. 13).
Tanque y succión	✗	Sin registro de nivel real, corrosión, alarmas y tubería de rebose.

Hallazgo crítico: No se cuenta con registros de pruebas obligatorias de bombas conforme a NFPA 25 (8.3.2), ni pruebas de caudal de hidrantes (16.12).

Riesgo generado: Red en servicio con mantenimiento parcial y sin validación de flujo real. Según NFPA 25 (2023), la falta de pruebas funcionales representa una condición de "impairment" que debe notificarse al responsable de seguridad y producción (5.2.2.1).

3.2.2 Inspección física con evidencia fotográfica

Durante la inspección en campo se levantaron 36 evidencias fotográficas, clasificadas en:

- Equipos correctos y operativos
- Equipos operativos con deterioro
- Equipos que representan condiciones de riesgo

Ejemplos de hallazgos documentados (ver tabla):

Tabla 3. Tabla de hallazgos preliminares del SCI

N.º de evidencia	Equipo	Condición encontrada	Riesgo asociado
1	Estación manual Notifier	Correcta y con mantenimiento	Conforme a NFPA 72
6	Baterías motor diésel	Sulfatación y fuga	Arranque tardío de bomba diésel
12	Jockey Pump	Operativa, sin bitácora de operación	Arranque inadecuado del sistema
31	Panel Minimax	Operativo, sin registro histórico digital	No trazabilidad ante fallas
020-022	Tanque alimentador	Corrosión en rebose y válvula	Posible fallo estructural e ingreso de aire

Hallazgo crítico: La bomba jockey está operativa pero no existe historial de presión de arranque y paro marcado (NFPA 20, 4.26.6.2), lo cual puede alterar el desempeño de las bombas principales.

Tabla 4. Hallazgos de riesgos críticos + evidencia del SCI

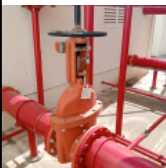
Imagen	ID Imagen	Elemento del SC	Nivel de Riesg	Color
	1	Válvula seccional / OS&Y	Crítico	 Rojo
	2	Válvula seccional / OS&Y	Crítico	 Rojo
	3	Bomba contra incendio	Crítico	 Rojo
	4	Motor contra incendio	Crítico	 Rojo
	5	Bomba contra incendio (jockey)	Crítico	 Rojo
	6	Riser + válvula principal	Crítico	 Rojo
	14	Válvula principal	Crítico	 Rojo
	15	Válvula OS&Y	Crítico	 Rojo
	21	Bomba / válvula principal	Crítico	 Rojo
	22	Riser + válvula principal	Crítico	 Rojo

Tabla 5. Hallazgos de riesgos altos + evidencia del SCI

Imagen	ID Imagen	Elemento del SCI	Nivel de Riesgo	Color
		7 Hidrante	Alto	 Naranja
		8 Hidrante	Alto	 Naranja
		9 Hidrante	Alto	 Naranja
		10 Hidrante	Alto	 Naranja
		20 Hidrante	Alto	 Naranja
		28 Manómetros / Presión	Alto	 Naranja
		30 Manifold de tubería / Red húmeda	Alto	 Naranja
		31 Tubería principal	Alto	 Naranja

Tabla 6. Hallazgos de riesgos moderado + evidencia del SCI

Imagen	ID Imagen	Elemento del SC	Nivel de Riesg	Color
	11	Estación manual	Medio	● Amarillo
	12	Estación manual	Medio	● Amarillo
	13	Estación manual	Medio	● Amarillo
	16	Panel Honeywell	Medio	● Amarillo
	17	Módulo de control	Medio	● Amarillo
	23	Módulo de control	Medio	● Amarillo
	24	Panel de alarma contra incendio	Medio	● Amarillo
	25	Modulo Honeywell	Medio	● Amarillo
	26	Módulo de control	Medio	● Amarillo

Tabla 7. Hallazgos de riesgos bajo + evidencia del SCI

Imagen	ID Imagen	Elemento del SC	Nivel de Riesg	Color
	18	Gabinete / señalética	Bajo	Verde
	19	Gabinete / Manguera	Bajo	Verde
	29	Señalización	Bajo	Verde
	32	Señalética y manguera	Bajo	Verde
	33	Etiquetado incompleto	Bajo	Verde
	34	Señalización	Bajo	Verde
	35	Señalética de equipos	Bajo	Verde
	36	Señalamientos generales	Bajo	Verde

3.2.3 Evaluación de cumplimiento general

Se compararon los resultados con NFPA 25 y NFPA 20:

Tabla 8. Cumplimiento general del SCI

Subsistema	Cumple	No cumple	Observaciones
Bombeo contra incendio	X	✗ Mayor incumplimiento	Falta checklist, pruebas semanales y registros
Estaciones manuales	✓	⚠ Parcial	Falta prueba funcional y registro sonoro
Detectores y paneles	✓	⚠ Parcial	Falta bitácora y pruebas documentadas
Hidrantes	✓	⚠ Parcial	No pruebas de flujo anuales
Tanque de agua	⚠	⚠	Corrosión y sin inspección estructural
Válvulas seccionales	✓	⚠	Falta drenaje de 2" mensual

Riesgo mayor identificado: Red contra incendios NO VALIDA su capacidad de respuesta mientras carezca de pruebas de caudal y bombas. Esto afecta la certificación del sistema ante auditorías externas.

El diagnóstico técnico del sistema contra incendio (SCI) de la planta Motherson Zitlaltepec se realizó conforme a los lineamientos establecidos por las normas NFPA 25 (Inspection, Testing and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems, Ed. 2023) y NFPA 20 (Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection, Ed. 2022). Adicionalmente, se tomó como referencia el enfoque de riesgo operacional sugerido por FM Global Property Loss Prevention Data Sheets (FM DS 3-01, 2024), debido a que la planta cuenta con supervisión de seguros FM en sus instalaciones.

Objetivo del diagnóstico

Evaluar las condiciones físicas, operativas y de mantenimiento del sistema contra incendio, mediante:

- Inspección visual en campo.
- Revisión de los formatos actuales de inspección y mantenimiento.
- Comparación con requisitos normativos NFPA/FM.
- Identificación de riesgos, desviaciones y oportunidades de mejora.

3.2.4 Componentes inspeccionados

El diagnóstico incluyó los siguientes elementos del sistema hidráulico y de detección:

Tabla 9. Inspección, equipos y normas aplicables

Tipo de componente	Ejemplos inspeccionados	Norma aplicable
Bombas, jockey y controlador	Bomba diésel, bomba eléctrica, tanque de combustible, controlador Eaton	NFPA 20
Red hidráulica exterior	Riser, válvulas OS&Y, hidrantes, FDC, tuberías aéreas y subterráneas	NFPA 25 cap. 7-8
Dispositivos interiores	Mangueras, gabinetes, válvulas seccionales, estaciones manuales, rociadores visibles	NFPA 25 cap. 5-6
Detección y alarma	Panel Honeywell/Notifier, módulos, detectores, tarjetas de supervisión	NFPA 72
Tanque de almacenamiento	Nivel, tuberías de succión, condiciones físicas	NFPA 22

Nota técnica: De los cuatro checklists existentes (hidrantes, estaciones manuales, válvulas seccionales, risers), no existe un formato para bombas, lo cual representa un incumplimiento directo del punto NFPA 25, sección 8.3.1.

3.2.5 Hallazgos del diagnóstico en campo

Los hallazgos se clasificaron conforme a NFPA 25 en categorías: A. Daño físico, B. Mantenimiento, C. Supervisión y D. Riesgo crítico.

Tabla 10. Clasificación de hallazgos

Categoría	Hallazgo	Evidencia (Anexo)	Norma
C – Supervisión insuficiente	Varias válvulas OS&Y sin candado o señalización de estado	Fig. A.14–A.19	NFPA 25 13.3.3
· Daño físico	Corrosión severa en tubería exterior y drenajes	Fig. A.8	NFPA 25 5.2.1.1
D – Riesgo crítico	Baterías de arranque en condiciones peligrosas (fugas y sulfatación)	Fig. A.5	NFPA 20 11.2.5
B – Mantenimiento	Señalización desgastada en hidrantes y gabinetes	Fig. A.21–A.23	NFPA 25 7.3.2
C – Falta de pruebas documentadas	No se registra prueba mensual de bombas	Sin evidencia	NFPA 25 8.3.7

Conclusión preliminar: El SCI está funcional pero NO cumple totalmente con NFPA 25 en documentación, supervisión y mantenimiento preventivo registrado. Esto puede afectar auditorías, aseguradoras y la seguridad industrial en escenarios de incendio.

3.2.6 Conclusión del diagnóstico

El sistema contra incendios opera, pero no está comprobada su eficiencia hidráulica. Los formatos existentes permiten inspección visual, pero no garantizan cumplimiento normativo, por lo que el sistema carece de certeza técnica en condiciones reales de incendio. *NFPA 25 establece que “la documentación debe garantizar la trazabilidad de desempeño para*

demostrar que el sistema provee el nivel de protección requerido por diseño” (NFPA 25, 2023, 1.3.4).

3.3 Inspección visual y levantamiento en sitio del sistema contra incendio

La inspección visual y el levantamiento en sitio constituyen una fase crítica dentro del proceso de diagnóstico del Sistema Contra Incendio (SCI) en la planta Motherson Zitlaltepec. Esta etapa tiene como propósito validar físicamente las condiciones operativas, de instalación, accesibilidad, señalización y estado de conservación de cada uno de los componentes que integran el sistema de protección contra incendios, conforme a los requerimientos establecidos en las normas NFPA 25 (Edición 2023) para sistemas de agua y NFPA 72 (Edición 2022) para detección y alarma contra incendio.

Para realizar inspección también se implementó la siguiente metodología para comenzar a tomar evidencia y registro del SCI.

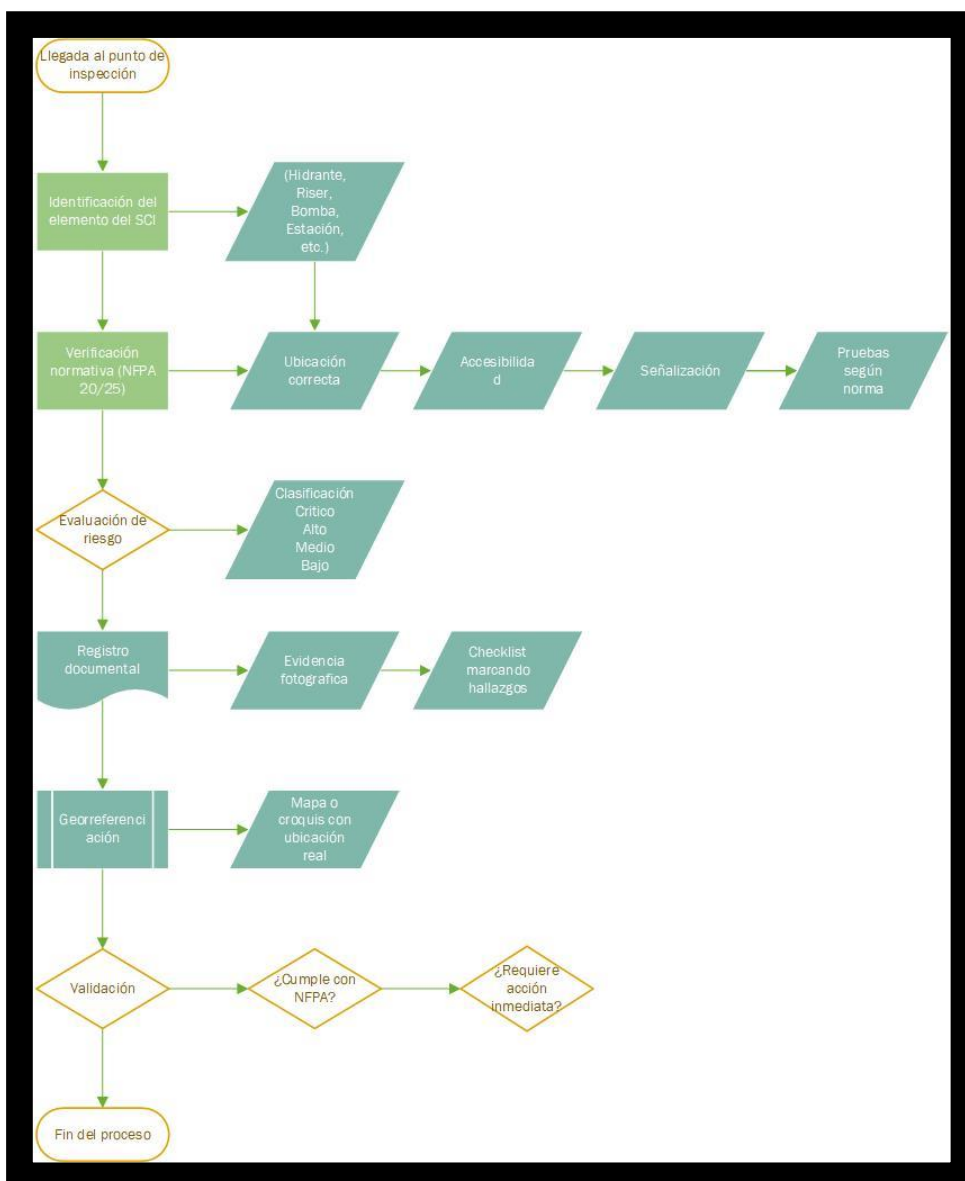


Ilustración 10. Diagrama de metodología de inspección

Objetivos de la inspección visual

- Identificar la presencia, ausencia o deficiencias físicas en los componentes del SCI.
- Verificar el cumplimiento de señalización, ubicación y accesibilidad.
- Registrar evidencia fotográfica y elaborar un inventario normativo de componentes.
- Detectar condiciones que representen **riesgos críticos, moderados o menores** para la operación del SCI.
- Integrar los hallazgos en un diagnóstico base para definir el plan de mejora posterior.

3.3.1 Metodología aplicada

Tabla 11. Metodología aplicada

Etapas	Descripción	Normativa base
Recorrido técnico por zona	Se realizó inspección sectorizada por áreas: producción, compresores, oficinas, tanques de reserva, cuartos eléctricos y exteriores.	NFPA 25 4.2
Verificación de componentes físicos	Se evaluaron: válvulas OS&Y, hidrantes, mangueras, gabinetes, manómetros, risers, estaciones manuales, paneles de control, detectores y fuente de alimentación.	NFPA 25 Cap. 5, 13 y 16; NFPA 72 Cap. 14
Revisión de accesibilidad y señalización	Se clasificó el cumplimiento de señalética, candados, tarjetas de supervisión, y accesibilidad física.	NFPA 25 8.3; NFPA 72 17.14
Registro documental y fotografías	Se capturaron y clasificaron 36 evidencias fotográficas, integradas como anexo gráfico con numeración e interpretación técnica.	Evidencia de campo
Calificación del riesgo por componente	Se aplicó criterio de riesgo: crítico (ROJO), moderado (AMARILLO), menor (VERDE).	NFPA 551 – Evaluación de riesgos

3.3.2 Componentes inspeccionados

Tabla 12. Componentes y numero de equipos en sitio

Tipo de componente	Cantidad identificada	Área principal
Válvulas OS&Y / válvulas seccionales	10 (NO SE TIENE CANTIDAD EXACTA)	Exteriores / cuarto de bombas
Riser / válvula de alarma	42	Perímetro planta
Hidrantes contra incendio	16	Perímetro exterior
Gabinetes con manguera	4(NO SE TIENE CANTIDAD EXACTA)	Oficinas, producción, almacenes, ensamble, pintura
Fuentes de poder & módulos Honeywell	4 (NO SE TIENE CANTIDAD EXACTA)	Zonas productivas
Estaciones manuales / Pull Station	132	Oficinas, producción, almacenes, ensamble, pintura
Motor contra Incendio	2	Producción y áreas administrativas
Sensores y módulos de supervisión	<i>No cuantificados por ausencia de checklist normativo</i>	—
líneas de inspección	20	Interior de planta
Bomba jockey	1	Cuarto de bombas
Hidrantes internos	52	Interior de planta

Nota crítica: Se confirmó que no existe un checklist normativo que incluya sensores, módulos, paneles ni fuentes de poder, lo cual representa una brecha documental relevante respecto a NFPA 72 y deberá ser corregida en la etapa de rediseño documental (Cap. 3.5).

3.3.3 Resultados preliminares del levantamiento

A partir del análisis visual se encontraron las siguientes características generales:

- Existencia de tarjetas de supervisión y candados en la mayoría de las válvulas; no obstante, no presentan control de calibración del manómetro ni verificación de apertura total (NFPA 25 — Cap. 13.2.7).
- Algunos hidrantes carecen de señalización horizontal estándar y el código pintado presenta desgaste.
- Se observaron manómetros con lecturas superiores a 150 psi, lo cual exige validación contra curvas de bomba (NFPA 25 — 13.2.4.1.2).
- La red de detección no está documentada ni inventariada, y los módulos no poseen identificación funcional en sitio, incumpliendo NFPA 72 — 10.4.4.
- Se evidencia corrosión leve a moderada en risers y tuberías expuestas al exterior.

3.4 Revisión de Registros de Mantenimiento del Sistema Contra Incendios

3.4.1 Descripción del proceso

La revisión documental permite verificar si el mantenimiento que recibe el Sistema Contra Incendios (SCI) en la planta cumple con los requerimientos de inspección, prueba y mantenimiento establecidos por la NFPA 25 (2023) y con los requisitos funcionales de bombas según NFPA 20 (2022).

De acuerdo con la NFPA 25 (2023, Sección 4.1.1): *“El propietario debe garantizar que los registros de inspección, prueba y mantenimiento del sistema estén disponibles, completos y actualizados para su revisión.”*

Objetivo de la revisión

- Comprobar la existencia, periodicidad y documentación de inspecciones, pruebas y mantenimientos ejecutados a los elementos del SCI.
- Identificar brechas entre lo realizado y lo exigido por normas NFPA.
- Determinar la trazabilidad documental y oportunidades de mejora en registros.

3.4.2 Documentos revisados

Tabla 13. Reportes existentes de mantenimiento preventivo

Documento Encontrado	Año	Elementos Evaluados	Observaciones
----------------------	-----	---------------------	---------------

Reporte de Estaciones Manuales	2016	Pulsadores	Formato incompleto, sin campos NFPA 25
Reporte de Válvulas Direccionales	2016	OS&Y	Sin verificación de posición supervisada
Reporte de Hidrantes	2016	Hidrantes	Sin pruebas de flujo (exigidas por NFPA 25)
Checklist de Risers	2016	Riser / Gabinetes	No contempla mangueras, válvulas, ni presión
NO EXISTE	—	Bombas, Motor, Jockey	Incumplimiento total NFPA 20 y NFPA 25

3.4.3 Principales hallazgos críticos

- No existe registro de pruebas semanales de bombas (NFPA 20, 4.7.7).
- No existen bitácoras mensuales ni anuales del SCI (NFPA 25, Tabla 5.1.1.2).
- Los formatos disponibles son de 2016 y carecen de campos obligatorios:
 - Presiones
 - Flujo
 - Operatividad de alarma
 - Supervisión de válvulas
 - Responsables y firmas

3.4.4 Impacto técnico en las brechas

Tabla 14. Impacto técnico en el sistema

Hallazgo	Impacto Técnico	Riesgo
----------	-----------------	--------

Falta de pruebas en bombas	Fallo total de presión durante un incendio	Crítico
Señales sin registro de supervisión	Imposible asegurar flujo y dirección	Alto
Formatos incompletos	No aplicable para auditorías ni peritajes	Alto
Sin evidencia fotográfica histórica	Desconocimiento de cambios en sistema	Medio

3.4.5 Requisitos NFPA que NO se cumplen

Tabla 15. Requisitos normativos que no se cumplen actualmente

Norma	Artículo	Requisito Incumplido
NFPA 25 (2023)	4.1.1	Registros completos y actualizados
NFPA 25 (2023)	8.3	Pruebas funcionales de hidrantes
NFPA 20 (2022)	4.7.7	Prueba semanal de bombas y registro
NFPA 25 (2023)	13.2.5	Supervisión de válvulas OS&Y
NFPA 25 (2023)	Tabla 5.1.1.2	Inspecciones periódicas documentadas

3.4.6 Diagrama de flujo de revisión documental (propuesta)

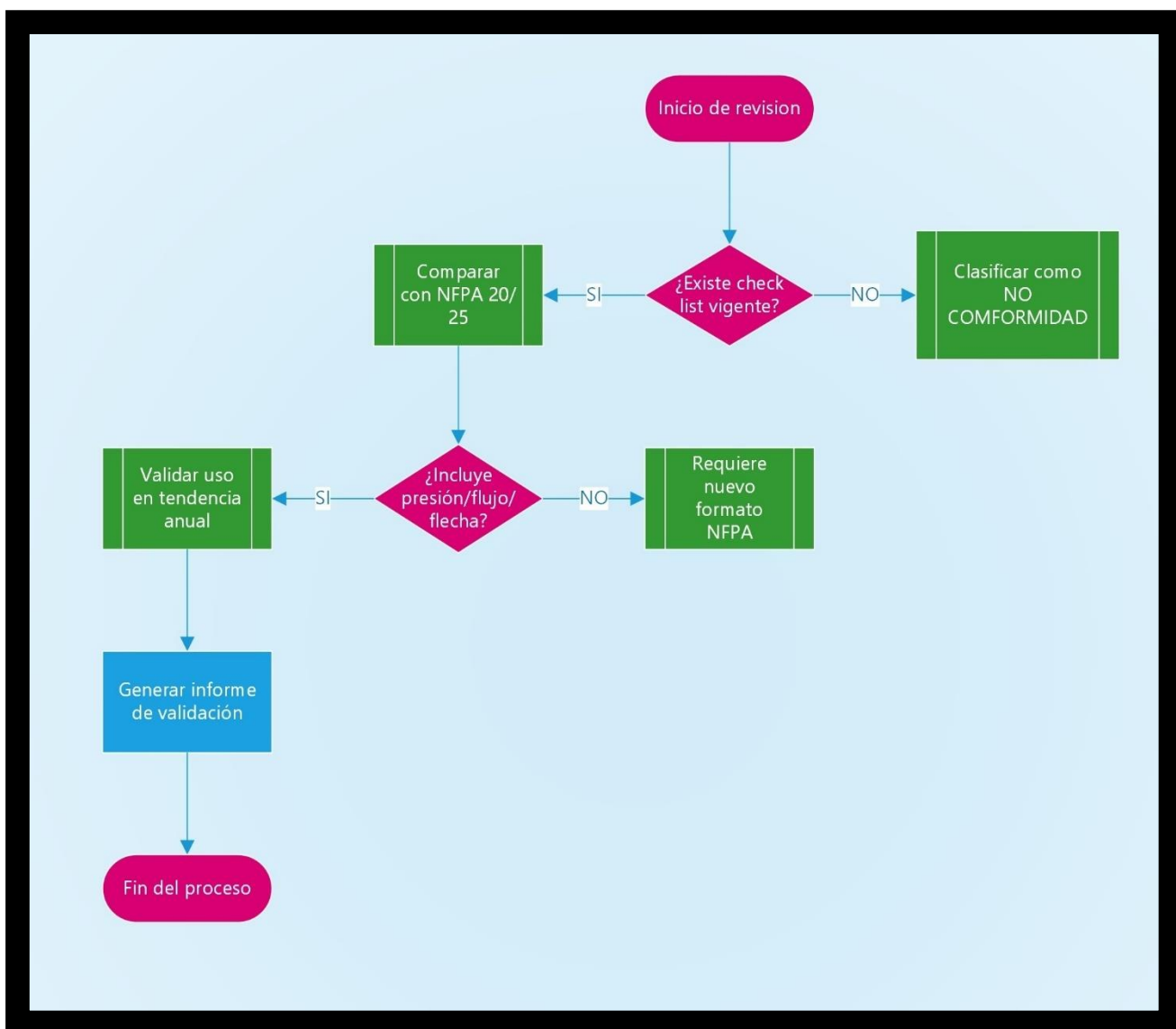


Ilustración 11. Diagrama de revisión y validación de los reportes

3.5 Entrevistas al personal involucrado.

La evaluación del sistema contra incendios no solo depende de la inspección técnica de los equipos, sino también del nivel de conocimiento, operación y responsabilidad del personal encargado de su uso, inspección y mantenimiento. Según Dhillon (2006), la confiabilidad operacional de un sistema de seguridad depende tanto de su diseño como de la capacidad y formación de quienes lo operan (p. 47). Por lo tanto, se planteó una metodología de entrevistas semiestructuradas, dirigidas a los siguientes perfiles:

Tabla 16. Personal requerido para responder encuesta de conocimientos sobre el SCI

Perfil Entrevistado	Departamento	Nivel de participación en	
		SCI	Rol esperado según NFPA 25/20
Técnicos de mantenimiento	Mantenimiento	Alto	Inspección y pruebas materiales
Practicante de ingeniería	Mantenimiento	Medio	Levantamiento y documentación
Supervisor/Coordinador	Mantenimiento	Alto	Programación, validación y autorización
Brigadistas y personal de seguridad	EHS / Seguridad	Alto	Atención a emergencias y pruebas funcionales
Operadores de planta	Producción	Bajo	Reporte inmediato de anomalías

3.5.1 Objetivo de las entrevistas:

Identificar el grado de conocimiento sobre la inspección, uso, documentación y pruebas de equipos contra incendios, y comparar los resultados con los requerimientos de NFPA 20 y NFPA 25.

3.5.2 Hallazgos Relevantes

A partir de la información obtenida, se identificaron los siguientes puntos críticos:

● Hallazgos Críticos

- El personal no conoce completamente el funcionamiento del SCI ni la razón de cada componente.
- No existe un procedimiento de operación en caso de activación o falla de bombas.
- Nadie ha recibido capacitación formal basada en NFPA 20 y NFPA 25.
- No existe claridad sobre quién es el responsable directo de las inspecciones.

● Hallazgos de Riesgo Alto

- Los técnicos no realizan pruebas semanales de bombas porque “no está en su rutina”.
- El 80% desconoce qué es una válvula OS&Y y cómo verificar su posición.

- El personal no sabe interpretar manómetros, presiones de red o verificaciones hidráulicas.

● Hallazgos de Riesgo Medio

- Se desconocen los criterios de inspección de estaciones manuales y gabinetes.
- Algunas áreas nunca reportan anomalías porque “no saben qué verificar”.

● Hallazgos de Riesgo Bajo

- El personal muestra disposición a capacitarse.
- Existe conocimiento empírico valioso que podría formalizarse.

3.5.3 Tabla con preguntas para entrevista

Tabla 17. Preguntas realizadas al personal de la planta sobre el SCI

No.	Pregunta	Objetivo	Tipo de Respuesta
1	¿Con qué frecuencia interactúa con el Sistema Contra Incendios?	Identificar nivel de exposición	Abierta
2	¿Ha recibido capacitación formal sobre el SCI?	Evaluar brecha formativa	Sí/No + descripción
3	¿Conoce la ubicación de todos los hidrantes y risers?	Evaluar conocimiento espacial	Sí/No
4	¿Sabe interpretar las presiones de los manómetros?	Identificar capacidades técnicas	Sí/No
5	¿Realizan pruebas semanales a las bombas?	Identificar cumplimiento con NFPA 20	Sí/No

6	¿Sabe verificar la posición correcta de una válvula OS&Y?	Medir competencia operativa	Sí/No
7	¿Existe un procedimiento de emergencia claro?	Detectar ausencia de protocolos	Abierta
8	¿Ha reportado fallas recientemente? ¿Cuáles?	Complementar diagnóstico	Abierta
9	¿Qué herramientas cree que hacen falta para mejorar el mantenimiento?	Propuestas de mejora	Abierta
10	¿Considera adecuado el tiempo asignado a las inspecciones?	Evaluar carga de trabajo	Abierta
11	¿Qué tan confiable considera que es el SCI actualmente?	Medir percepción de riesgo	Escala 1–5
12	¿Qué componentes considera más propensos a fallar?	Priorización de riesgos	Abierta

13	¿Conoce los pasos para activar el sistema manualmente?	Evaluar conocimiento crítico	Sí/No
14	¿Cuenta la planta con bitácoras actualizadas?	Detectar vacíos documentales	Sí/No
15	¿Qué recomendaría mejorar primero?	Ranking de mejoras	Abierta

3.5.4 Síntesis estadística de las respuestas

A partir de la aplicación de 15 preguntas a 11 trabajadores —incluyendo operadores, técnicos, supervisores y personal administrativo con distintos niveles de interacción con el Sistema Contra Incendios (SCI)— se identificaron tendencias claras que permiten evaluar la percepción, conocimiento, operación y brechas existentes dentro del sistema.

5.¿ Conoce la ubicación de todos los hidrantes, estaciones manuales, líneas de inspección y risers?



Ilustración 12. Gráfica de porcentaje de respuesta de la pregunta 5

2.¿ Ha recibido capacitación formal sobre el Sistema Contra Incendio?



Ilustración 13. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 2

6. ¿ Sabe interpretar la presión de los manómetros?



Ilustración 14. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 6

7. ¿ Se realizan pruebas semanales a las bombas ?

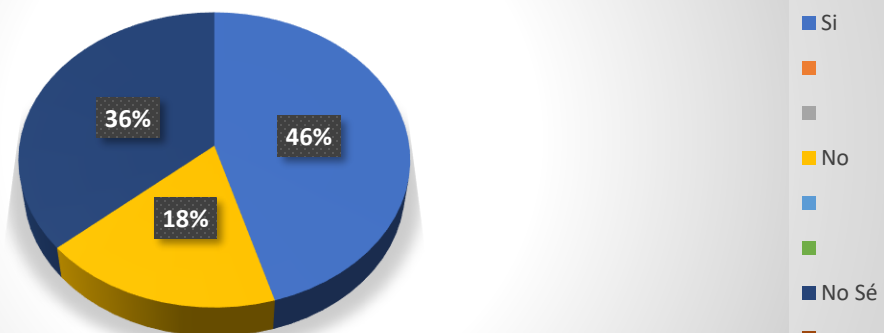


Ilustración 15. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 7

8. ¿ Sabe verificar la posición correcta de una válvula OS&Y?

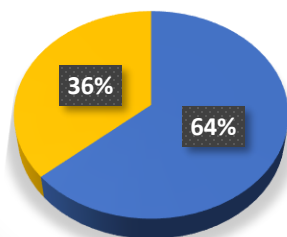


Ilustración 16. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 8

16. ¿Cuenta la planta con bitácoras actualizadas?

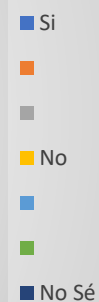
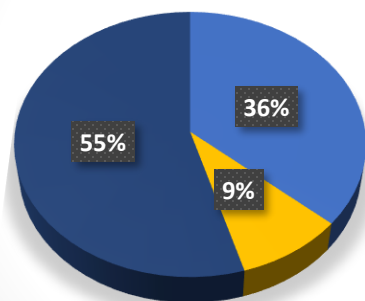


Ilustración 17. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 16

15. ¿ Conoce los pasos para activar el sistema manualmente?

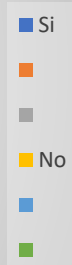
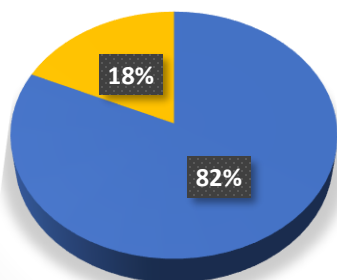


Ilustración 18. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 15

13. ¿que tan confiable considera que es el Sistema actualmente?

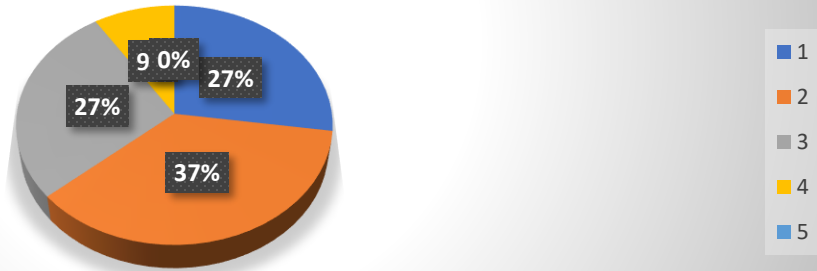


Ilustración 19. Grafica de porcentaje de respuesta de la pregunta 13

3.5.5 Síntesis General de Resultados de las Entrevistas Aplicadas al Personal Involucrado en el Sistema Contra Incendios

El análisis de las encuestas aplicadas al personal operativo, técnico y administrativo involucrado directa o indirectamente con el Sistema Contra Incendios (SCI) permitió identificar de manera objetiva el nivel real de conocimiento, participación, percepción de confiabilidad y brechas operativas existentes en la planta.

En la frecuencia de interacción con el SCI (Pregunta 1), únicamente 3 de los 11 encuestados indicaron tener interacción frecuente con el sistema, mientras que 8 manifestaron no tener contacto regular, lo que evidencia que más del 70 % del personal no participa activamente en actividades relacionadas con el SCI, incrementando el riesgo operativo por desconocimiento del sistema.

Respecto a la capacitación formal (Pregunta 2), 7 personas indicaron que la capacitación es muy rara o poco común, 3 señalaron tener una participación moderada, y solo 1 persona afirmó estar siempre involucrada. Este resultado confirma una debilidad estructural en la formación técnica del personal, lo cual representa una brecha crítica frente a los requerimientos de capacitación continua establecidos por la NFPA 25.

En cuanto al conocimiento de la ubicación de hidrantes y risers (Pregunta 3), 6 personas sí conocen su localización, mientras que 5 la desconocen, lo que implica que casi el 45 % del personal no podría actuar eficientemente en una emergencia, aumentando el tiempo de respuesta ante un incendio.

Sobre la interpretación de presiones en manómetros (Pregunta 4), 9 personas indicaron que sí saben interpretarlas, mientras que 2 no, reflejando que el conocimiento técnico básico está presente en la mayoría, aunque no es universal.

En la realización de pruebas semanales a bombas (Pregunta 5), solo 5 personas afirmaron que sí se realizan, 2 indicaron que no, y 4 manifestaron no saber, lo que evidencia una falta grave de control y comunicación de las actividades críticas exigidas por la NFPA 20, además de una deficiente trazabilidad de la información.

Respecto a la verificación de válvulas OS&Y (Pregunta 6), 7 personas saben verificar su posición correcta, mientras que 4 no, lo cual indica un conocimiento técnico parcialmente adecuado, pero no generalizado.

En relación con la existencia de procedimientos de emergencia (Pregunta 7), aunque la mayoría reconoce que sí existe algún procedimiento, también se identificó que no se conocen las especificaciones técnicas del mismo, enfocándose únicamente en la evacuación del personal y no en la operación técnica del SCI, lo cual representa una debilidad crítica en la respuesta a incendios reales.

En cuanto al reporte de fallas (Pregunta 8), la mayoría del personal indicó no haberse percatado de fallas recientes; sin embargo, el personal con mayor conocimiento técnico señaló problemas como obstrucciones en elementos del sistema, mangueras dañadas y elementos deteriorados, confirmando que sí existen fallas reales que no son visibles para todo el personal.

Sobre las herramientas necesarias para mejorar el mantenimiento (Pregunta 9), se repitieron propuestas clave como:

- Implementación de señalización adecuada,
- Bomba de prueba para mangueras,
- Aumento de personal técnico,
- Uso de software especializado para mantenimiento preventivo.

Estas respuestas evidencian una necesidad urgente de fortalecimiento técnico, humano y tecnológico del SCI.

En relación al tiempo asignado a las inspecciones (Pregunta 10), la mayoría desconoce cuánto tiempo se emplea realmente, y solo casos aislados manifestaron que se cumple conforme a la normativa, reflejando falta de control operativo del proceso de inspección.

La percepción de confiabilidad del SCI (Pregunta 11) mostró una tendencia claramente negativa:

- 3 personas calificaron con nivel 1,
- 4 personas con nivel 2,
- 3 personas con nivel 3,
- 1 persona con nivel 4,
- 0 personas con nivel 5.

Esto significa que el 90.9 % del personal percibe el sistema como poco confiable o medianamente confiable, constituyendo un indicador crítico de riesgo organizacional y técnico.

En la identificación de componentes más propensos a fallas (Pregunta 12), la mayoría mencionó equipos expuestos al error humano (estaciones manuales, líneas de inspección), así como el motor contra incendio, lo que coincide directamente con los hallazgos físicos observados en campo.

En la activación manual del sistema (Pregunta 13), 9 personas afirmaron que sí conocen el procedimiento y 2 que no, lo que significa que aún existe un 18 % del personal sin conocimiento crítico básico para emergencias.

Sobre la existencia de bitácoras actualizadas (Pregunta 14), 4 respondieron que sí, 1 que no, y 6 que no saben, evidenciando una grave debilidad documental y una nula trazabilidad formal del mantenimiento del SCI.

Finalmente, en las recomendaciones de mejora (Pregunta 15), el personal coincidió principalmente en:

- Incrementar el número de técnicos,
- Mejorar el plan de mantenimiento,
- Fortalecer la parte técnica del sistema,
- Difundir el funcionamiento del SCI entre todo el personal.

Estas propuestas validan la necesidad del proyecto de actualización integral del sistema contra incendios.

Con base en los resultados:

Brechas Críticas

(Riesgo inmediato; compromete la protección total)

- Falta de pruebas semanales documentadas en bombas (NFPA 20).
- Falta de capacitación formal NFPA 20 y NFPA 25.
- Bitácoras ausentes o desconocidas.
- Baja confiabilidad percibida (~2/5).

● **Brechas Altas**

(Afectan desempeño operativo importante)

- Falta de responsables definidos.
- Insuficiente conocimiento sobre ubicación de hidrantes/risers.
- Equipo expuesto a deterioro.

● **Brechas Medias**

- Mala señalización.
- Ausencia de software para mantenimiento preventivo.

● **Brechas Bajas**

- Organización del personal
- Carga de trabajo no estandarizada

3.5.6 Conclusiones generales del análisis

- El SCI está operando con bajo nivel de conocimiento del personal, lo que incrementa el riesgo.
- Los procesos de inspección, mantenimiento y documentación **no están** estandarizados.
- La confiabilidad percibida del sistema es muy baja, señal de riesgo real.
- Existe escasez de herramientas, señalización y recursos para mantener el sistema conforme a NFPA 25.
- Las entrevistas confirman los hallazgos del levantamiento físico y del análisis documental.

3.6 Análisis de Cumplimiento Normativo del Sistema Contra Incendios

3.6.1 Objetivo del Análisis

Evaluar el grado real de cumplimiento del Sistema Contra Incendios (SCI) de la planta respecto a las normas NFPA 20 (bombas) y NFPA 25 (inspección, pruebas y mantenimiento),

utilizando evidencia levantada en campo (3.2) y resultados de entrevistas (3.5), con el fin de identificar brechas técnicas, operativas y documentales.

3.6.2 Metodología Aplicada

El análisis se desarrolló mediante un enfoque comparativo:

1. Identificación de requisitos críticos de NFPA 20 y 25.
2. Verificación en sitio mediante inspección visual.
3. Validación con entrevistas al personal.
4. Clasificación por nivel de cumplimiento.
5. Evaluación del riesgo operativo asociado.

3.6.3 Matriz General de Cumplimiento Normativo

Componente del SCI	Requisito NFPA	Evidencia Real	Cumple	Nivel de Riesgo
Bombas contra incendio	Prueba semanal (NFPA 20)	No documentada	✗ No	● Crítico
Estaciones manuales	Inspección mensual (NFPA 25)	Parcial	⚠ Parcial	● Alto
Hidrantes	Inspección periódica (NFPA 25)	Con deficiencias	✗ No	● Crítico
Válvulas OS&Y	Señalización e inspección	Sin identificación	✗ No	● Crítico
Risers	Pruebas hidráulicas	No registradas	✗ No	● Crítico
Panel de detección Honeywell	Pruebas funcionales	No documentadas	⚠ Parcial	● Alto
Registros documentales	Bitácora actualizada	Solo formatos 2016	✗ No	● Crítico

Capacitación del personal

Entrenamiento anual Insuficiente

✗ No

● Crítico

3.6.4 Resultados Clave del Cumplimiento (Derivados de Entrevistas y Campo)

- Solo 5 de 11 personas confirman pruebas a bombas.
- 6 personas desconocen la ubicación de todos los risers.
- 9 personas sí saben leer manómetros, pero no aplican pruebas formales.
- 6 personas desconocen si existen bitácoras actualizadas.
- La percepción de confiabilidad del SCI se concentra entre niveles 1 y 2 (riesgo alto).
- No existe evidencia formal de cumplimiento completo con NFPA 20 ni NFPA 25.

3.6.5 Evaluación Global del Cumplimiento

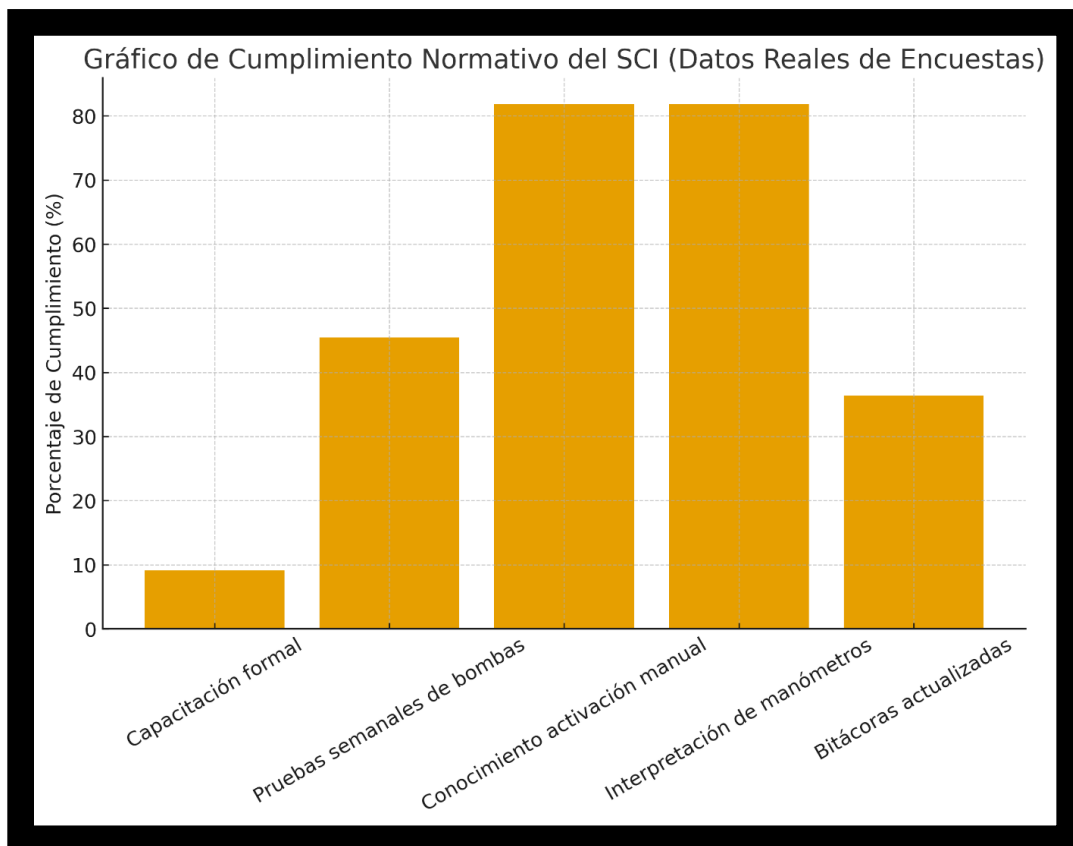


Ilustración 20. Grafica de cumplimiento normativo según encuestas

El nivel general de cumplimiento normativo del SCI se clasifica como:

● CUMPLIMIENTO BAJO – ALTO RIESGO OPERATIVO

Esto implica:

- Alta vulnerabilidad ante un evento real de incendio.
- Posible incumplimiento legal y de auditoría.
- Riesgo directo para personal e infraestructura.
- Necesidad inmediata de intervención técnica y documental

3.6.6 Conclusión Técnica del Apartado 3.6

El análisis demuestra que el sistema no cumple de manera integral con las exigencias mínimas de NFPA 20 y NFPA 25, principalmente por:

- Ausencia de pruebas documentadas.
- Falta de capacitación estructurada.
- Checklists obsoletos.
- Deficiencias visibles en campo.

Esto justifica plenamente la actualización del sistema y del programa de mantenimiento como eje central.

3.7 Evaluación de Riesgos del Sistema Contra Incendios (SCI)

La evaluación de riesgos del Sistema Contra Incendios se realizó tomando como base:

- NFPA 25 (2023): criterios para inspección, prueba y mantenimiento.
- NFPA 20 (2022): criterios para bombas contra incendio.
- Evidencia fotográfica recopilada (36 imágenes).
- Encuestas al personal (11 participantes).
- Hallazgos del levantamiento en sitio y revisión de checklists.

La evaluación de riesgos del Sistema Contra Incendios (SCI) en Motherson Zitlaltépec se realizó considerando dos criterios:

- Probabilidad (P) de que ocurra la falla (escala 1–5).
- Impacto (I) sobre la seguridad, la operación y el cumplimiento normativo (escala 1–5).

El nivel de riesgo se calculó como:

Nivel de riesgo = Probabilidad × Impacto

A partir del diagnóstico de campo, encuestas y revisión normativa (NFPA 20 y NFPA 25), se identificaron los riesgos principales mostrados en la siguiente matriz.

3.7.1 Matriz de riesgos

El análisis se desarrolló mediante una matriz Probabilidad–Impacto y una clasificación en: Crítico, Alto, Medio y Bajo, integrando criterios de afectación operativa, cumplimiento normativo y seguridad humana.

Tabla 18. Matriz de riesgos de problemáticas en componentes del SCI

ID	Riesgo	Probabilidad (1-5)	Impacto (1-5)	Nivel de riesgo (P×I)	Clasificación
1	Falla de bomba principal contra incendio	5	5	25	Crítico
2	Falla de motor diésel de la bomba	4	5	20	Crítico
3	Hidrante obstruido o fuera de servicio	3	4	12	Alto
4	Estación manual dañada o no accesible	3	3	9	Medio
5	Válvula OS&Y cerrada o mal posicionada	4	5	20	Crítico
6	Falla en panel de detección Honeywell	2	4	8	Medio
7	Fugas importantes en la red húmeda	3	3	9	Medio

8	Mangueras deterioradas en gabinetes	3	3	9	Medio
9	Riser sin señalización o identificación	2	2	4	Bajo
10	Bitácoras y registros desactualizados	4	4	16	Alto

3.7.2 Diagrama de Pareto de riesgos



Ilustración 21. Diagrama de Pareto de riesgos

El diagrama de Pareto muestra que los riesgos con mayor contribución global al nivel de riesgo del SCI son la falla de la bomba principal, la falla del motor diésel, y la desactualización de bitácoras. Estos tres riesgos concentran la mayor parte del riesgo total y deben ser priorizados en el plan de acción.

3.7.4 Resumen de evaluación de riesgos.

La evaluación de riesgos del sistema contra incendios se llevó a cabo mediante una matriz de probabilidad–impacto, considerando los principales modos de falla identificados en el

diagnóstico (bombas, válvulas, hidrantes, estaciones manuales, red húmeda y documentación). Los resultados muestran que los riesgos de falla de la bomba principal, falla del motor diésel, válvulas OS&Y cerradas o mal posicionadas y bitácoras desactualizadas se ubican en la categoría crítica/alta, por lo que representan la máxima prioridad de intervención.

Para priorizar las acciones, se elaboró un diagrama de Pareto de riesgos, donde se observa que un conjunto reducido de fallas concentra la mayor parte del nivel de riesgo global del SCI.

Estos resultados servirán como base para el diseño del plan de mejora del mantenimiento preventivo y la actualización documental conforme a NFPA 20 y NFPA 25 en capítulos posteriores.

3.8 Diseño del plan de mejora

El diseño del plan de mejora se estructura con base en:

- Hallazgos del diagnóstico (3.2)
- Resultados de entrevistas (3.5)
- Análisis de cumplimiento normativo (3.6)
- Evaluación de riesgos (3.7)
- Requerimientos establecidos por NFPA 20 y NFPA 25

Este plan establece acciones específicas, responsables, prioridades, plazos y recursos, con el fin de garantizar la confiabilidad, disponibilidad y operatividad del Sistema Contra Incendios (SCI) de Motherson Zitlaltépec.

3.8.1 Objetivo General del Plan de Mejora

Garantizar que el Sistema Contra Incendios cumpla con los estándares técnicos y normativos establecidos en NFPA 20 y NFPA 25, asegurando su funcionamiento continuo mediante acciones correctivas, preventivas y de gestión documental.

3.8.2 Estrategia General de Mejora

La estrategia se compone de cinco ejes principales:

1. Actualización documental y técnica (NFPA 25)
2. Estandarización de pruebas y mantenimiento (NFPA 20)

3. Fortalecimiento de capacitación y competencias
4. Corrección de hallazgos críticos y altos
5. Implementación de herramientas de control (bitácoras, KPIs y software)

3.8.3 Priorización de acciones según riesgo

Basada en la matriz (P×I), el plan seguirá esta política:

Tabla 19. Prioridad de atención a fallas en base a riesgos

Nivel de riesgo	Criterio NFPA	Tiempo máximo para corregir
Crítico (16–25)	Compromete la extinción	Inmediato (0–7 días)
Alto (10–15)	Afecta operatividad del sistema	≤ 30 días
Medio (5–9)	No afecta operación inmediata	≤ 90 días
Bajo (1–4)	Administrativos y estéticos	≤ 180 días

3.8.4 Plan de mejora detallado

Tabla 20. Plan de mejora detallado y actualizado.

N.º	Hallazgo	Riesgo	Norma aplicable	Acción de Mejora	Responsable	Recursos	Fecha objetivo
1	Falta de pruebas semanales de bomba	Crítico	NFPA 20 – 4.7.7	Implementar protocolo de prueba semanal con registro firmado	Fire System Coordinator	Checklist, manómetros	7 días
2	Bitácoras desactualizadas	Alto	NFPA 25	Crear nuevo formato anual + digitalización	Planeación	Software, Excel	15 días
3	Estaciones manuales dañadas	Alto	NFPA 72 referencia visual	Reemplazo y pintura, evaluación de activación	Técnico MRO	Refacciones	30 días
4	Mangueras picadas / gabinetes incompletos	Alto	NFPA 25 Cap. 6	Sustitución, inventario y etiquetado	Mantenimiento	Mangueras nuevas	30 días

5	Riser sin señalización	Medio	NFPA 25	Colocar placas, flechas y tarjetas	Seguridad	Señalética	20 días
6	Obstrucciones en hidrantes	Alto	NFPA 25	Limpieza, despeje y pintura	Técnicos	Herramientas	15 días
7	Falta de capacitación técnica	Crítico	NFPA 20/25	Capacitación anual obligatoria	RH + HSE	Instructor externo	45 días
8	Ausencia de pruebas de flujo	Crítico	NFPA 25 – 7.3	Realizar prueba anual con caudalímetro	Fire System Coordinator	Caudalímetro	30 días
9	Panel Honeywell sin verificación rutinaria	Medio	NFPA 72	Pruebas mensuales y registro	Mantenimiento Eléctrico	Manual técnico	10 días
10	Fuga en red húmeda	Alto	NFPA 25 – 5.2	Reparación inmediata	MRO	Tubo, cople, sellos	10 días

3.8.5 Implementación de KPIs del Sistema Contra Incendios

Tabla 21. Propuesta de implementación de kpi's

KPI	Fórmula	Frecuencia	Meta
Disponibilidad del SCI	Tiempo operativo / Tiempo total	Mensual	≥ 95%
Cumplimiento de pruebas NFPA 20	Pruebas realizadas / Pruebas programadas	Semanal	100%
Tiempo de atención a fallas	T. detección → T. reparación	Quincenal	≤ 48 h
Equipos en condición óptima	Equipos OK / Equipos totales	Mensual	≥ 90%

3.8.6 Flujoograma de ejecución del plan de mejora

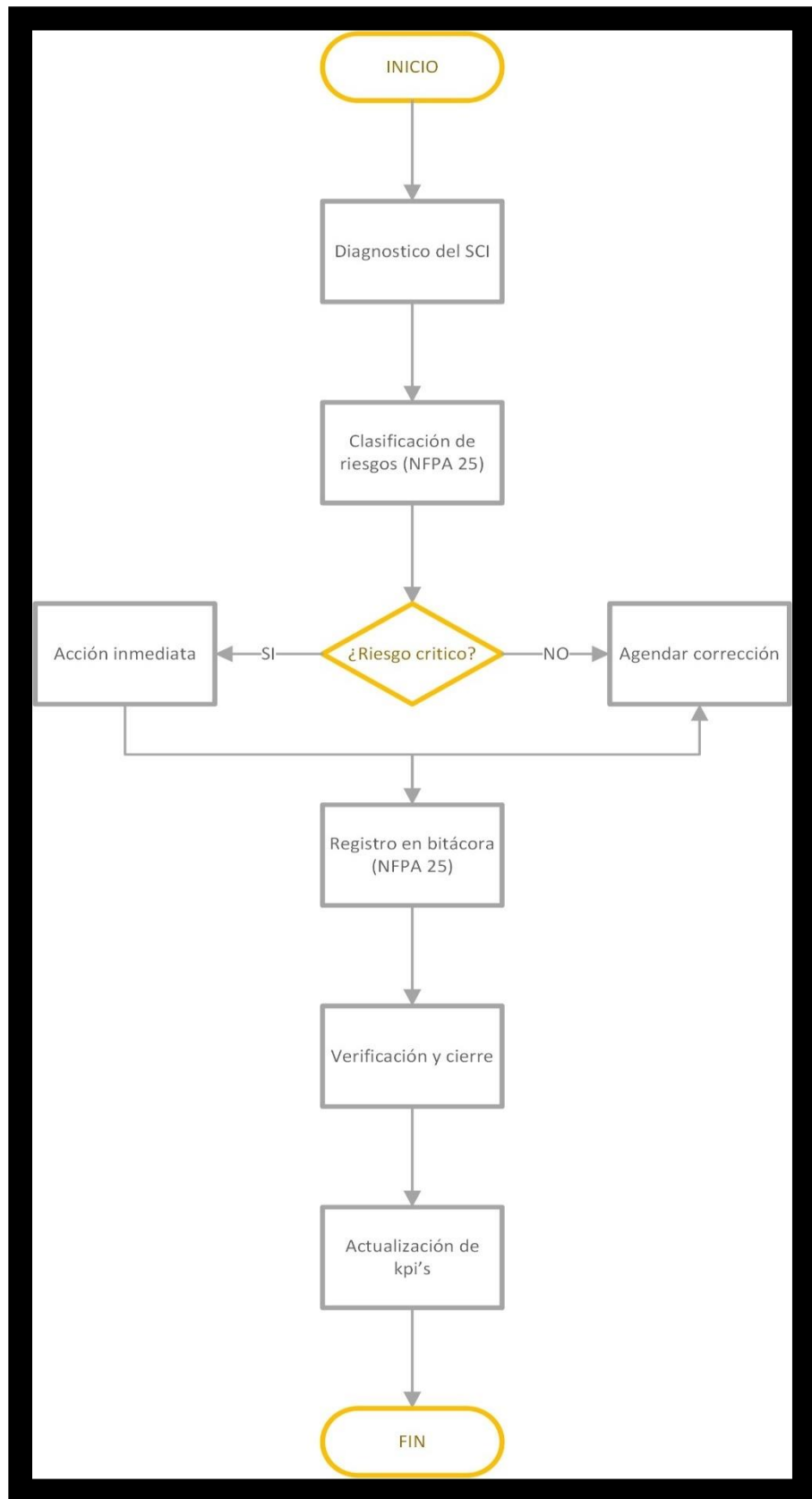


Ilustración 22. Flujograma de aplicación del plan de mejora

3.8.8 Conclusión del Plan de Mejora

El plan de mejora propuesto constituye un instrumento práctico y normativo para corregir las brechas identificadas en el SCI. Su ejecución garantizará:

- Cumplimiento con NFPA 20 y 25
- Mejora de la seguridad contra incendios
- Reducción del riesgo operativo
- Incremento en la confiabilidad y disponibilidad del sistema
- Profesionalización del personal involucrado

3.9 Diseño de Procedimientos y Formatos del Sistema Contra Incendios

Los procedimientos fueron diseñados bajo los siguientes criterios:

Tabla 22. Diseño de nuevos formatos y procedimientos normativos

Criterio	Descripción
Normativo	Alineación directa con NFPA 20 y NFPA 25
Operativo	Adaptación a la realidad de la planta y recursos disponibles
Técnico	Enfoque en inspección visual, funcional y pruebas documentadas
Preventivo	Prioridad al mantenimiento preventivo y predictivo
Documental	Evidencia escrita, medible y verificable

Replicable

Procedimientos claros, repetibles y fáciles de aplicar

3.9.1 Estructura estándar de los procedimientos

Cada procedimiento del SCI fue diseñado con una estructura uniforme, lo que facilita su comprensión y aplicación:

1. Nombre del procedimiento
2. Objetivo
3. Alcance
4. Responsables
5. Frecuencia
6. Equipo y herramientas requeridas
7. Descripción paso a paso
8. Criterios de aceptación / rechazo
9. Riesgos asociados
10. Formato de registro
11. Referencia normativa (NFPA)

3.9.2 Procedimientos diseñados para el Sistema Contra Incendios

A partir del diagnóstico y análisis normativo, se diseñaron los siguientes procedimientos base:

A) Procedimiento de Inspección Visual del SCI

Aplica a:

- Estaciones manuales
- Hidrantes
- Gabinetes
- Risers
- Válvulas seccionales
- Señalización

Objetivo:

Detectar condiciones visibles de deterioro, obstrucción, daño físico o falta de señalización.

Frecuencia:

Mensual (NFPA 25).

B) Procedimiento de Inspección y Prueba de Bombas Contra Incendio

Aplica a:

- Bomba principal
- Bomba jockey
- Motor diésel
- Tablero de control

Objetivo:

Verificar la capacidad de arranque, presión, estabilidad y confiabilidad del sistema de bombeo.

Frecuencia:

- Inspección: semanal
- Prueba funcional: semanal / anual según NFPA 20 y 25

C) Procedimiento de Inspección de Válvulas OS&Y y Seccionales

Aplica a:

- Válvulas de succión
- Válvulas de descarga
- Válvulas de control de zonas

Objetivo:

Garantizar que todas las válvulas permanezcan en posición correcta y señalizada.

Frecuencia:

Mensual.

D) Procedimiento de Inspección de Hidrantes y Gabinetes

Aplica a:

- Hidrantes interiores y exteriores
- Mangueras
- Boquillas
- Llaves y accesorios

Objetivo:

Verificar disponibilidad inmediata del sistema en caso de emergencia.

Frecuencia:

Mensual / Anual (pruebas hidráulicas).

E) Procedimiento de Inspección del Sistema de Detección

Aplica a:

- Paneles Honeywell
- Estaciones manuales
- Módulos de control
- Alarmas visuales y auditivas

Objetivo:

Asegurar la detección temprana y activación correcta del sistema.

Frecuencia:

Mensual / Trimestral.

3.9.3 Diseño de formatos de inspección y mantenimiento

Los formatos fueron diseñados como **herramientas de control**, no solo como registros administrativos.

Estructura base de los formatos.

Tabla 23. Diseño de formatos de inspección de mantenimiento

Campo	Propósito
Fecha	Control temporal
Área / Ubicación	Trazabilidad física
Equipo	Identificación del componente
Actividad	Inspección / prueba / mantenimiento
Criterio NFPA	Referencia normativa
Condición	Conforme / No conforme
Observaciones	Evidencia técnica

Nivel de riesgo	Crítico / Alto / Medio / Bajo
Responsable	Firma y nombre
Acción requerida	Seguimiento

3.9.4 Alcance del punto 3.9 dentro del proyecto

Este apartado establece:

- Cómo deben realizarse las actividades
- Qué se debe registrar
- Quién es responsable
- Con qué frecuencia
- Bajo qué norma

Los resultados de la aplicación de estos procedimientos y formatos se documentarán posteriormente en el apartado de resultados, manteniendo una clara separación entre diseño y ejecución.

3.10 Revisión del Plan y Validación Interna

3.10.1 Objetivo del Plan de Revisión y Validación

El objetivo de esta etapa es verificar, validar y autorizar internamente el plan de mejora del Sistema Contra Incendios (SCI), asegurando que las propuestas, procedimientos y formatos desarrollados cumplen con los requerimientos técnicos, normativos y operativos establecidos por las normas NFPA 20 y NFPA 25, así como con las necesidades reales de la planta.

Esta validación interna permite confirmar que el plan es técnicamente viable, aplicable en campo y alineado a la operación diaria, previo a su implementación formal.

3.10.2 Alcance de la Revisión

La revisión interna se enfoca únicamente en los elementos clave del proyecto, evitando redundancias y manteniendo un enfoque práctico:

- Procedimientos de inspección, prueba y mantenimiento diseñados.
- Nuevos checklists conforme a NFPA 20 y NFPA 25.
- Plan de mejora propuesto para el SCI.

- Resultados del diagnóstico, evaluación de riesgos y análisis de cumplimiento normativo.
- Coherencia entre hallazgos, riesgos identificados y acciones correctivas propuestas.

3.10.3 Proceso de Revisión Interna

La validación se realiza mediante los siguientes pasos generales:

1. Revisión técnica del contenido por parte del especialista responsable del Sistema Contra Incendios.
2. Verificación normativa, confirmando alineación con NFPA 20 y NFPA 25.
3. Evaluación operativa, asegurando que los procedimientos y formatos pueden ejecutarse con los recursos disponibles.
4. Retroalimentación técnica, donde se sugieren ajustes menores si es necesario.
5. Aprobación formal del plan mediante firma de validación.

Este proceso garantiza que el plan no sea únicamente teórico, sino aplicable, entendible y sostenible.

3.10.4 Resultados de la Validación

Como resultado del proceso de revisión interna se obtuvo:

- Aprobación del diseño de procedimientos y formatos.
- Validación de los nuevos checklists como herramienta oficial de inspección y mantenimiento.
- Confirmación de que las mejoras propuestas atienden los principales riesgos del SCI.
- Autorización para avanzar a la fase de implementación y seguimiento.

3.10.5 Hoja de Validación Interna del Sistema Contra Incendios

3.10.6 Cierre del Capítulo

La validación interna del plan garantiza que el proyecto cuenta con respaldo técnico y operativo, fortaleciendo su valor como proyecto de titulación y asegurando que las propuestas desarrolladas pueden ser implementadas de manera efectiva para mejorar la confiabilidad y seguridad del Sistema Contra Incendios.

3.11 Capacitación y Difusión al Personal del Sistema Contra Incendios

La capacitación al personal constituye un elemento clave para asegurar la correcta operación, inspección y mantenimiento del Sistema Contra Incendios (SCI), así como para garantizar

que las mejoras propuestas en el presente proyecto sean comprendidas, aceptadas y aplicadas de manera adecuada.

Derivado del diagnóstico técnico, la evaluación de riesgos y los resultados de las entrevistas realizadas, se identificó la necesidad de fortalecer el conocimiento del personal respecto al funcionamiento del SCI, las responsabilidades asociadas y los requerimientos normativos establecidos por las normas NFPA 20 y NFPA 25. Por ello, en esta etapa del proyecto se plantea una propuesta de capacitación y difusión, orientada a dar a conocer las mejoras implementadas y estandarizar criterios operativos.

Objetivo de la capacitación

Brindar al personal involucrado una visión general del Sistema Contra Incendios, de las mejoras propuestas y de los nuevos procedimientos y formatos de inspección, con el fin de aumentar la confiabilidad operativa y reducir riesgos asociados a fallas humanas o desconocimiento técnico.

Alcance

La capacitación está dirigida a:

- Técnicos de mantenimiento.
- Supervisores y coordinadores de área.
- Personal operativo con interacción directa o indirecta con el SCI.
- Personal de apoyo en situaciones de emergencia.

Contenido propuesto

De manera general, la capacitación contempla los siguientes temas:

- Introducción al Sistema Contra Incendios de la planta.
- Importancia del SCI para la seguridad del personal y la continuidad operativa.
- Principales componentes del sistema (bombas, hidrantes, risers, válvulas, estaciones manuales, paneles de detección).
- Cambios y mejoras propuestas en el sistema.
- Uso y llenado de los nuevos checklist conforme a NFPA 25.
- Procedimientos básicos de inspección visual y pruebas funcionales.
- Importancia de la correcta documentación y registro de actividades.
- Roles y responsabilidades del personal ante una emergencia.

Modalidad de capacitación

Se propone que la capacitación sea:

- Breve y práctica.
- Apoyada con material visual (presentaciones, diagramas, señalización).
- Complementada con recorridos guiados por las áreas donde se ubica el SCI.
- Realizada en sesiones cortas para no afectar la operación de la planta.

Beneficios esperados

- Mayor conocimiento del sistema por parte del personal.
- Reducción de errores operativos y omisiones en inspecciones.
- Mejor aprovechamiento de los formatos y procedimientos diseñados.
- Mayor conciencia del riesgo asociado a un SCI deficiente.
- Fortalecimiento de la cultura de seguridad industrial.

Relación con el proyecto

Esta propuesta de capacitación permite cerrar el ciclo del proyecto, asegurando que las mejoras técnicas, documentales y normativas no queden únicamente a nivel de diseño, sino que puedan ser entendidas y aplicadas por el personal que interactúa diariamente con el Sistema Contra Incendios.

Capítulo IV: Resultados proyecto 1

Como resultado del análisis, diagnóstico y desarrollo del plan de mejora del Sistema Contra Incendios, se llevaron a cabo diversas actividades técnicas y pruebas de mantenimiento, las cuales permitieron validar el funcionamiento real del sistema y atender los hallazgos detectados durante las etapas previas del proyecto.

Entre los principales resultados obtenidos se encuentran los siguientes:

Se realizaron pruebas de mantenimiento al sistema, documentadas mediante evidencia fotográfica, derivadas directamente de los hallazgos identificados durante el diagnóstico inicial del SCI.

Con el apoyo de un proveedor especializado, se llevó a cabo la obtención de la curva de eficiencia del motor contra incendio, permitiendo evaluar su desempeño operativo y confirmar que los parámetros de funcionamiento se encuentran dentro de rangos aceptables. Se efectuó la medición y verificación de parámetros eléctricos y operativos en el panel de control del motor, asegurando la correcta lectura de variables críticas para la operación del sistema.

Se realizaron pruebas funcionales de alarmas, comprobando la correcta activación de señales visuales y auditivas ante condiciones simuladas de operación.

Como parte del mantenimiento correctivo y preventivo, el proveedor realizó el ajuste de la cabeza del motor contra incendio, mejorando su desempeño y confiabilidad.

Se identificaron y liberaron componentes del sistema que se encontraban bloqueados u obstruidos, tales como válvulas, mangueras y elementos de la red hidráulica, reduciendo riesgos de falla durante una emergencia.

Se desarrollaron e implementaron nuevos checklist de inspección y mantenimiento, alineados a los requerimientos de la NFPA 20 y NFPA 25, los cuales permiten una evaluación más completa y estandarizada de cada componente del SCI.

En este apartado se integran las evidencias fotográficas de las pruebas realizadas, así como las imágenes correspondientes a los nuevos formatos y checklist diseñados, los cuales respaldan de manera objetiva la ejecución de las actividades de mantenimiento y la mejora del sistema.

Los resultados obtenidos confirman que, mediante la aplicación de un análisis estructurado y el diseño de procedimientos adecuados, es posible mejorar significativamente la confiabilidad, seguridad y control del Sistema Contra Incendios, sentando las bases para una gestión preventiva más eficiente y alineada con la normativa vigente.

En las siguientes imágenes se podrá observar que bajo la gestión del especialista del SCI en planta y el practicante que postula el proyecto, se solicitó a directivos, realizar pruebas de eficiencia a los motores del SCI, al igual, por fallos existentes, se pidió una revisión completa del motor 2, se adjuntan pruebas del trabajo realizado.

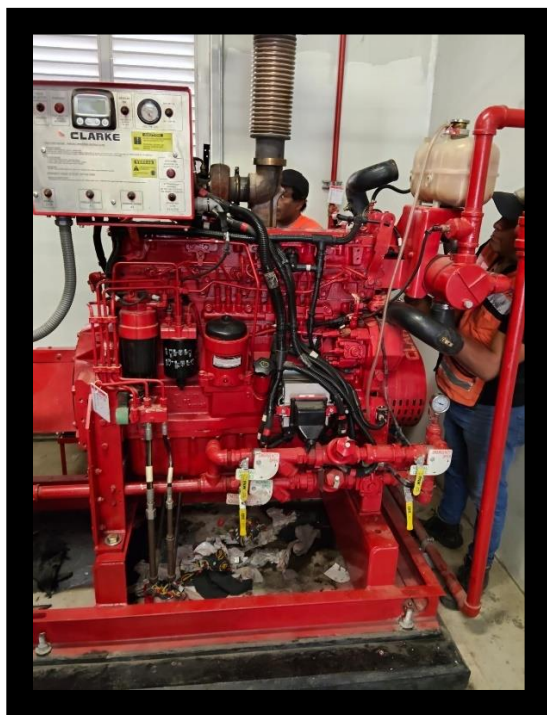


Ilustración 23. Proveedores realizando inspección del motor 2

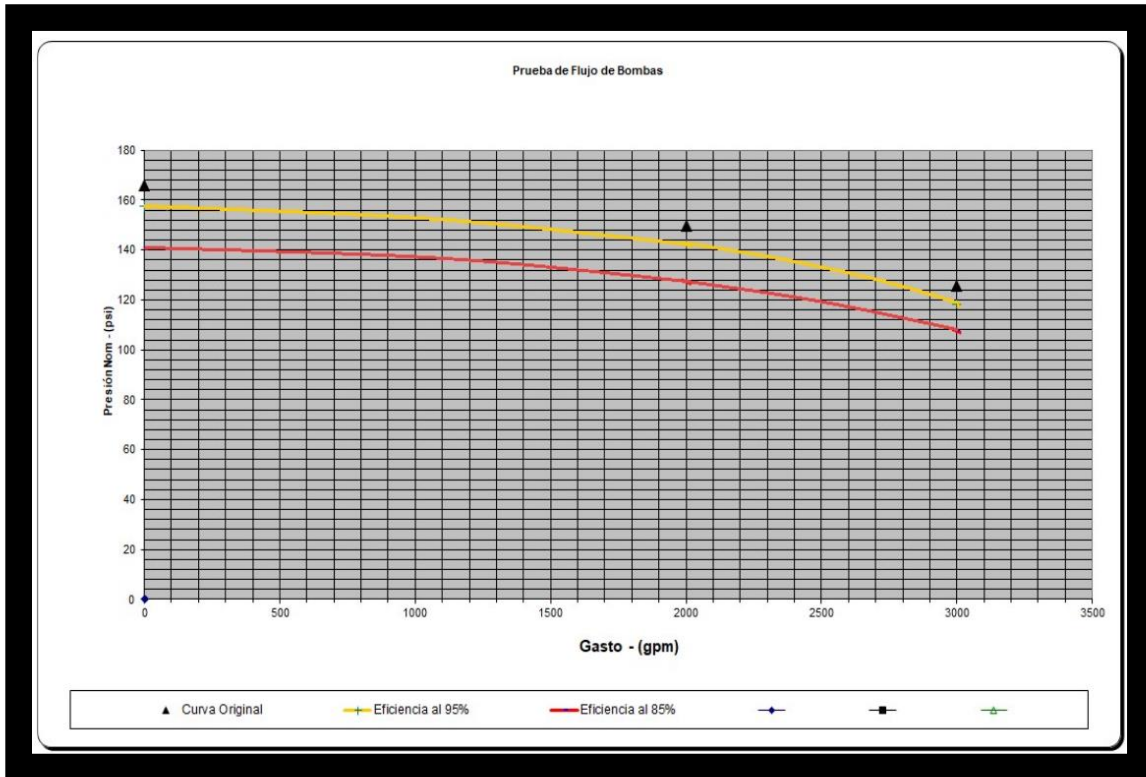


Ilustración 24. Prueba de eficiencia a motor del SCI en planta Motherson

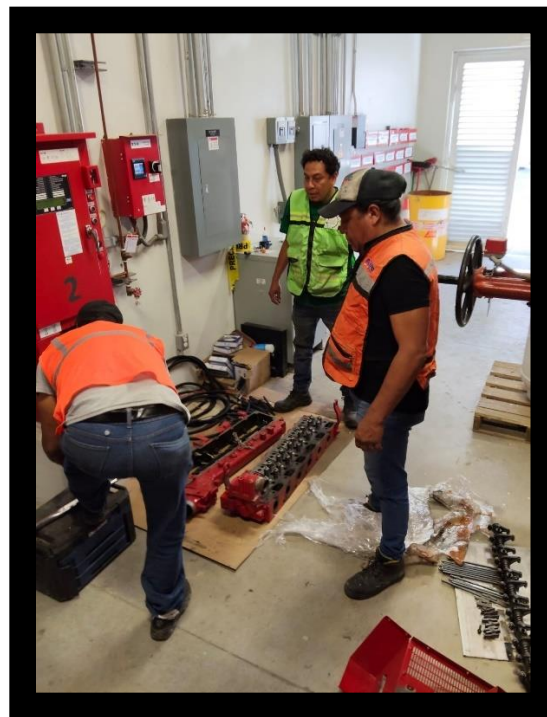


Ilustración 25. Cabezal del motor desmontado y listo para enviar a pruebas.

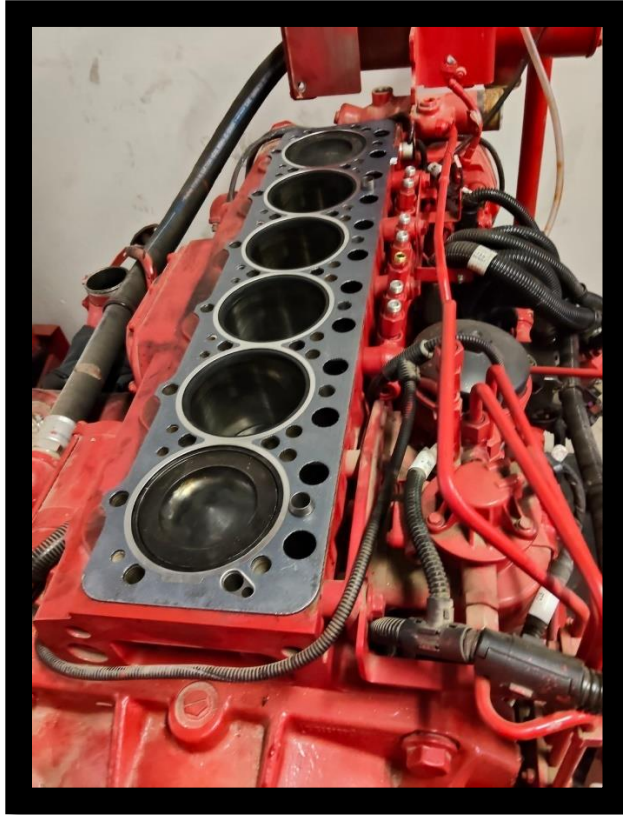


Ilustración 26. Imagen del motor al quedar expuesto con visibles rasgos de desgaste.

motherson		SALIDA DE MATERIAL						SAFETY MANAGEMENT	
		Mtto.	Mold	Inyeccion	Ensamble	Pintura	Cal.	FOLIO	Nº 8136
ÁREA		Log.	Ing.	Proyect	Finanzas	Metrol	Otro	Hora	
Destinatario:									
Motivo de Salida:									
¿El material regresa a SMP Tlaxcala? SI ☒ NO ☐ PLAZO 15 DÍAS									
Referencia		Descripción					Cantidad	Unidad	
CABEZA / INYECTORES		CABEZA / INYECTORES					1 CABEZA / 6 INYECTOR	PZA	
R9 6090L124982		PISTONES / BIELAS					6 / 6	PZA	
NUM. SERIE		ENFRIADOR					1	PZA	
		CAMISA / METAL					3 / 1	PZA	
Comentarios:									
Si se trata de material productivo deberá anotarse el folio SAP de la salida:									
Solicitante	Gerencia Responsable	Dirección		Finanzas		Destinatario			
<i>[Firma]</i>	<i>[Firma]</i>	<i>[Firma]</i>		<i>[Firma]</i>		<i>[Firma]</i>			
Nombre y Firma	Nombre y Firma	Nombre y Firma		Nombre y Firma		Nombre y Firma			
Clasificación: Público									

ZIT-8.5.4

Ilustración 27. Vale de salida para reparación y prueba de cabeza del motor, avalado por directivos.

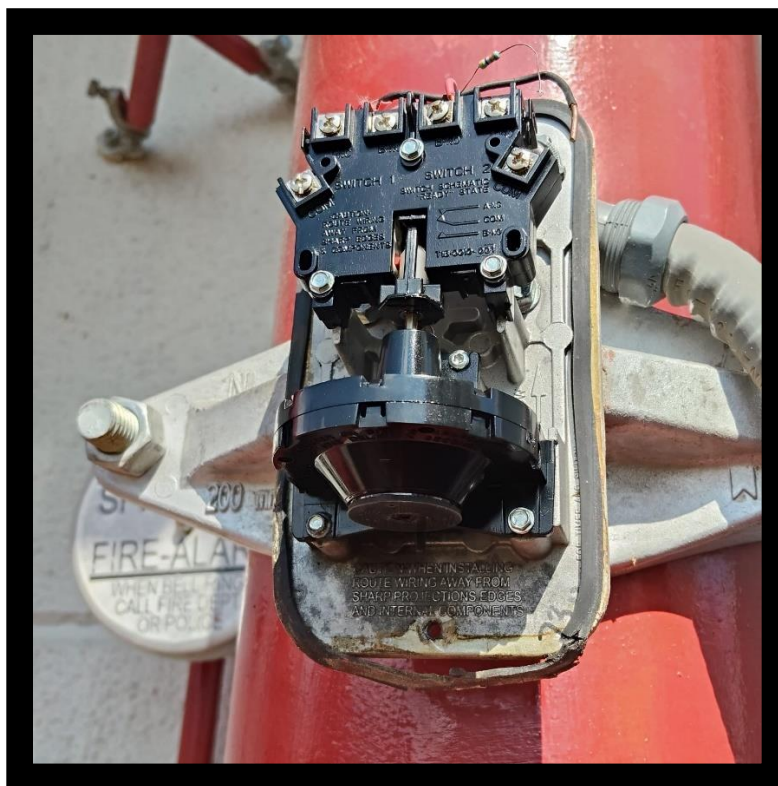


Ilustración 28. Prueba de relevador alarma ubicada en riser del SCI.



Ilustración 29. Prueba de sonido de alarma.

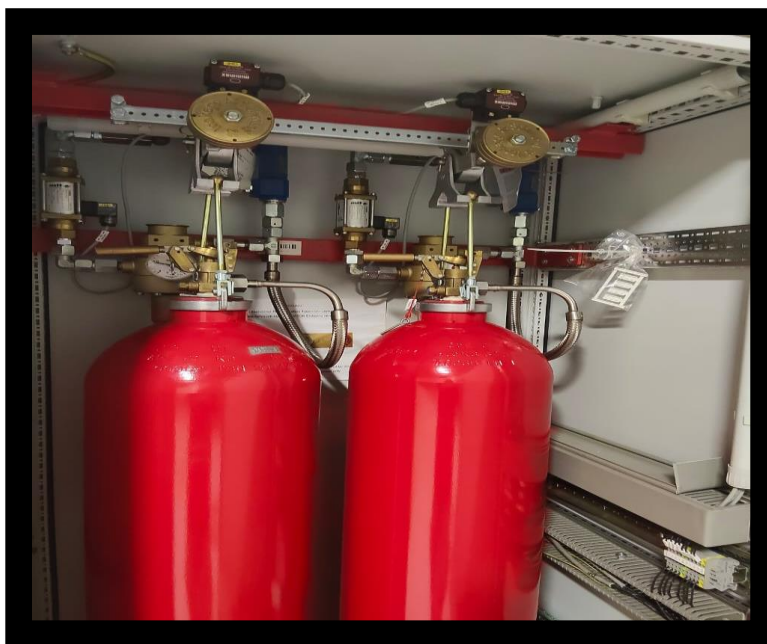


Ilustración 30. Limpieza de sistema de CO2 y espuma para cabinas de transparente en pintura.

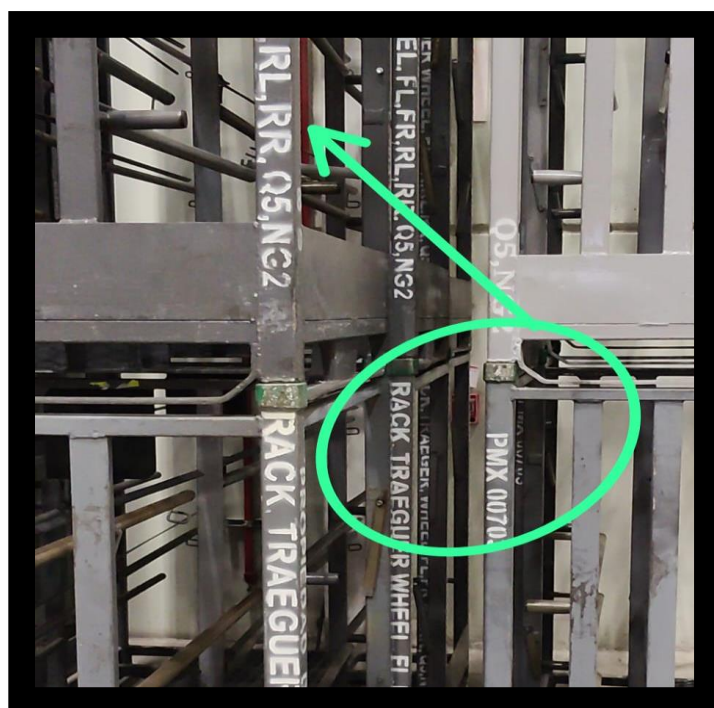


Ilustración 31. Ubicación de líneas de inspección.

Formato 1 – Checklist de Estaciones Manuales de Alarma				
Norma: NFPA 25 – Cap. 14		motherson		
Frecuencia: Inspección mensual	Ítem	Punto de verificación	Cumple (Sí/No)	Observaciones
	1	La estación es visible y accesible		
	2	No presenta daños físicos		
	3	Está correctamente señalizada		
	4	No está obstruida por objetos		
	5	La palanca se encuentra en posición normal		
	6	El cristal o cubierta está íntegro		
	7	Identificación correcta del área		
	8	Activación manual sin esfuerzo excesivo		
	9	Conexión eléctrica en buen estado		
	10	Registro en bitácora actualizado		

Ilustración 32. Nuevo checklist de estaciones manuales.

Formato 2 – Checklist de Hidrantes y Gabinetes Contra Incendio				
Norma: NFPA 25 – Cap. 7				
	Ítem	Punto de verificación	Cumple	Observaciones
	1	Hidrante/gabinete accesible		
	2	Señalización visible		
	3	Manguera en buen estado		
	4	Manguera correctamente enrollada		
	5	Boquilla funcional		
	6	Válvula abre y cierra completamente		
	7	No hay fugas		
	8	Presión adecuada		
	9	Gabinete sin corrosión		
	10	Registro fotográfico		

Ilustración 33. Nuevo checklist de hidrantes.

Formato de validación para checklists					
Norma: NFPA 25/72					
Fecha	Equipo	Actividad	Resultado	Responsable	Firma

Ilustración 34. Validación de checklists.



3.10 Revisión del Plan y Validación Interna del Sistema Contra Incendios

Este apartado describe el proceso de revisión final del plan de mejora del Sistema Contra Incendios (SCI), así como su validación interna por parte del personal responsable y del especialista en protección contra incendios. El objetivo es asegurar que las acciones propuestas cumplen con los requisitos técnicos, normativos y operativos establecidos por las normas NFPA 20 y NFPA 25, antes de su implementación formal.

Objetivo de la Validación Interna

Confirmar que el plan de mejora, los procedimientos y los formatos desarrollados son técnicamente viables, normativamente correctos y aplicables a las condiciones reales de la planta.

Alcance de la Revisión

Cumplimiento con NFPA 20 y NFPA 25.

- Revisión de checklist y formatos.
- Validación de procedimientos.
- Identificación y señalización del SCI.

Formato de Validación Interna

Nombre del Proyecto	Actualización y Mejora del Sistema Contra Incendios
Área Responsable	Mantenimiento / Seguridad Industrial
Especialista del SCI	Francisco Leon Tellez
Cargo	Specialist Fire Systems
Fecha	16/12/25
Resultado	☒ Aprobado ☐ Aprobado con observaciones ☐ No aprobado

Observaciones:

Se valida nuevo formato para plan de Mantenimiento del SCI

Firma del Especialista SCI:

Firma Responsable del Proyecto:

Ilustración 35. Carta de aceptación del nuevo formato de check list avalado por especialista del SCI, listo para aplicar en Enero 2026

Capítulo V: Proyecto 2 Reducción de tiempos muertos en reparación de máquinas de inyección

5.1 Planteamiento del problema

En la planta Motherson ubicada en el estado de Tlaxcala, las máquinas de inyección de plástico representan un recurso crítico dentro del proceso productivo, ya que su correcta operación influye directamente en el cumplimiento de los programas de producción, la calidad del producto y la eficiencia operativa de la empresa. No obstante, durante el desarrollo de las residencias profesionales en el área de mantenimiento, se identificó la existencia de tiempos muertos excesivos durante la reparación de las máquinas de inyección, situación que genera paros prolongados y afectaciones en la continuidad del proceso productivo.

El análisis preliminar permitió identificar que dichos tiempos muertos no se originan únicamente durante la ejecución de la reparación, sino que se presentan desde las etapas iniciales de atención a la falla, incluyendo la detección, el diagnóstico y la toma de decisiones. Entre las principales problemáticas observadas se encuentran la desatención inicial de las fallas, deficiencias en la comunicación entre producción y mantenimiento, falta de radios o baterías para la comunicación inmediata, priorización inadecuada de eventos críticos, carencia de refacciones disponibles, y tiempos prolongados dedicados a la búsqueda de manuales o información técnica.

Asimismo, se detectaron factores relacionados con el personal técnico, tales como la falta de experiencia en determinados sistemas, el conocimiento limitado en la detección de fallas complejas, la dependencia de apoyo adicional y la ausencia de procedimientos estandarizados para el diagnóstico y reparación. Estas condiciones provocan recorridos innecesarios, retrasos en la toma de decisiones y una extensión considerable del tiempo total de paro de las máquinas.

Lo anterior evidencia que el problema del tiempo muerto en la reparación de máquinas de inyección no depende de un solo factor, sino de una combinación de causas técnicas,

organizacionales y humanas, así como de la falta de un proceso estructurado para la gestión de fallas. Por ello, surge la necesidad de realizar un análisis integral del proceso de atención y reparación, que permita identificar desde su origen las causas que generan los tiempos muertos excesivos y proponer mejoras enfocadas a la reducción de dichos tiempos, contribuyendo a una mayor disponibilidad de los equipos y a la mejora del desempeño del área de mantenimiento en la planta Motherson Tlaxcala.

5.2 Objetivo general

Analizar el proceso de atención y reparación de las máquinas de inyección en la **planta Motherson Tlaxcala**, con el fin de identificar las causas que originan los tiempos muertos excesivos y proponer mejoras que permitan **reducir el tiempo total de paro** y optimizar el desempeño del área de mantenimiento.

5.3 Objetivos específicos

1. Identificar las principales causas que generan tiempo muerto en la reparación de las máquinas de inyección, desde la detección de la falla hasta la puesta en operación del equipo.
2. Analizar el proceso actual de atención a fallas durante las residencias profesionales, considerando aspectos de comunicación, priorización, diagnóstico y disponibilidad de refacciones.
3. Evaluar el impacto del tiempo de diagnóstico, la experiencia del personal técnico y la falta de estandarización de procedimientos en el tiempo total de reparación.
4. Detectar áreas de oportunidad relacionadas con la capacitación del personal, el uso de herramientas de comunicación y el acceso a información técnica.
5. Proponer mejoras técnicas y organizacionales orientadas a la reducción del tiempo muerto en la reparación de las máquinas de inyección.
6. Establecer lineamientos generales que contribuyan a la estandarización del proceso de atención a fallas y a la mejora continua del área de mantenimiento.

5.3 Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad de mejorar la eficiencia operativa del área de mantenimiento en la planta Motherson Tlaxcala, específicamente en lo relacionado

con los tiempos muertos generados durante la reparación de las máquinas de inyección de plástico. Estas máquinas constituyen un elemento crítico dentro del proceso productivo, por lo que cualquier paro prolongado impacta directamente en la continuidad de la producción, el cumplimiento de los programas establecidos y los costos asociados a tiempos improductivos.

Durante el desarrollo de las residencias profesionales, se identificó que los tiempos muertos no se originan únicamente en la complejidad técnica de las fallas, sino en deficiencias del proceso de atención, tales como la falta de estandarización en los métodos de diagnóstico, problemas de comunicación entre las áreas involucradas, ausencia de refacciones en el momento oportuno, limitaciones en la capacitación técnica del personal y una inadecuada priorización de las fallas críticas. Estas condiciones evidencian la necesidad de realizar un análisis estructurado que permita identificar las causas raíz del problema y establecer acciones de mejora enfocadas a la reducción del tiempo total de paro.

Desde el punto de vista técnico, el proyecto permitirá analizar y documentar el proceso actual de reparación de las máquinas de inyección, proponiendo mejoras en los métodos de diagnóstico, atención y seguimiento de fallas, lo que contribuirá a una mayor disponibilidad de los equipos y a la optimización del desempeño del personal de mantenimiento. Asimismo, el desarrollo de procedimientos estandarizados facilitará la transferencia de conocimiento técnico y la reducción de la dependencia de la experiencia individual.

En el ámbito económico, la reducción de los tiempos muertos impactará positivamente en la disminución de costos derivados de paros no planeados, reprocesos y uso ineficiente de recursos, favoreciendo una mejor utilización de los activos productivos de la empresa. De igual manera, permitirá mejorar el cumplimiento de los planes de producción y reducir pérdidas asociadas a retrasos en la entrega.

Desde una perspectiva organizacional, el proyecto contribuirá a fortalecer la comunicación y coordinación entre las áreas de producción y mantenimiento, promoviendo una cultura de trabajo basada en procesos estructurados y en la mejora continua. Además, los resultados

obtenidos podrán servir como referencia para la implementación de mejoras similares en otras áreas o procesos de la planta.

Finalmente, desde el enfoque académico y profesional, este proyecto representa una oportunidad para aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería en Sistemas Automotrices en un entorno industrial real, integrando herramientas de análisis de fallas, mejora de procesos y gestión del mantenimiento. De esta manera, el trabajo desarrollado no solo cumple con los objetivos de las residencias profesionales, sino que también genera un valor agregado para la empresa y contribuye a la formación integral del residente.

5.4 Marco Teórico

5.4.1 Mantenimiento industrial: concepto y relevancia en la continuidad operativa.

El mantenimiento industrial es una función fundamental dentro de los sistemas productivos, ya que permite asegurar que los equipos e instalaciones conserven su capacidad de operación de acuerdo con los requerimientos del proceso. En industrias de manufactura, como la inyección de plástico, el mantenimiento influye directamente en la continuidad operativa, el cumplimiento de los planes de producción y la reducción de pérdidas asociadas a paros no planeados.

De acuerdo con la norma europea EN 13306, el mantenimiento se define como “una combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un activo, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desempeñar la función requerida” (Hannover Messe, s.f.).

Esta definición es relevante para el presente proyecto, ya que establece que el mantenimiento no se limita a la reparación física del equipo, sino que incluye actividades de organización, comunicación, planificación y toma de decisiones.

Desde esta perspectiva, los tiempos muertos generados durante la reparación de las máquinas de inyección no pueden atribuirse únicamente al trabajo del técnico, sino también a deficiencias en el proceso de atención a fallas, como retrasos en la comunicación entre áreas, falta de refacciones disponibles, ausencia de procedimientos estandarizados y tiempos prolongados de diagnóstico. Por ello, el análisis del mantenimiento debe abordarse de manera

integral, considerando tanto los aspectos técnicos como los administrativos y humanos involucrados en la gestión de fallas. En la ilustración siguiente, se muestra como Mikael Andersson muestra a continuación la pirámide nos enseña algunos de los principales procesos involucrados en el mantenimiento y los estándares que lo fundamentan. Todos los procesos deben funcionar correctamente para lograr un mantenimiento rentable y eficaz.

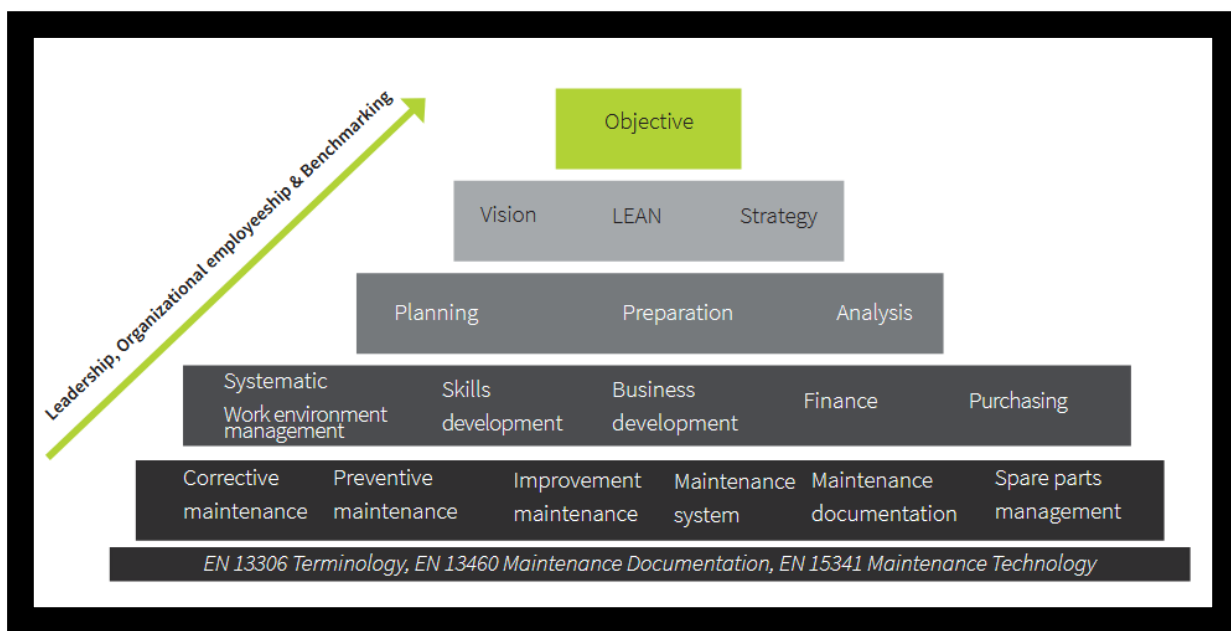


Ilustración 36. MAINTENANCE PYRAMID. MaintMaster Systems AB

5.4.2 Disponibilidad y tiempo muerto (downtime) en equipos industriales

La disponibilidad es uno de los indicadores fundamentales para evaluar el desempeño de los equipos industriales, ya que expresa la capacidad de un activo para encontrarse en condiciones de operación cuando se requiere. En sistemas productivos automatizados, como las máquinas de inyección, la disponibilidad está directamente relacionada con la ocurrencia de fallas y con la eficiencia del proceso de reparación.

De acuerdo con la International Electrotechnical Commission (IEC), la disponibilidad se define como “la capacidad de un elemento para encontrarse en un estado que le permita desempeñar la función requerida bajo condiciones dadas, en un instante determinado o durante un intervalo de tiempo” (IEC, 2015). Esta definición establece una relación directa entre el estado operativo del equipo y su contribución al proceso productivo.

Cuando una máquina se encuentra fuera de operación debido a una falla, mantenimiento correctivo, espera de refacciones o retrasos en la atención, se genera lo que se conoce como tiempo muerto o downtime. Desde el enfoque de la ingeniería de confiabilidad, el tiempo muerto comprende todo el periodo en el que el equipo no se encuentra disponible para producir, independientemente de si se está realizando una reparación activa o si el equipo permanece detenido por causas organizacionales o logísticas (IEC, 2015).

La literatura técnica señala que el tiempo muerto no depende únicamente del tiempo efectivo de reparación, sino también del tiempo de diagnóstico, el tiempo de espera y el tiempo de restablecimiento, los cuales forman parte integral del proceso de mantenimiento correctivo. Autores como Moubray indican que una parte significativa de las pérdidas por indisponibilidad se origina en actividades previas y posteriores a la intervención técnica, tales como la identificación incorrecta de la falla, la falta de información técnica o la demora en la asignación de recursos (Moubray, 1997).

En este sentido, la disponibilidad de un equipo se ve afectada no solo por la frecuencia de las fallas, sino por la manera en que estas son gestionadas. Por ello, la reducción del tiempo muerto requiere un análisis detallado de los estados operativos del equipo —operativo y no operativo— y de las causas que prolongan la transición entre dichos estados. Este enfoque resulta especialmente relevante para el presente proyecto, ya que permite justificar que la mejora de la disponibilidad de las máquinas de inyección en la planta Motherson Tlaxcala depende tanto de la capacidad técnica del mantenimiento como de la eficiencia del proceso de atención a fallas. La figura 37 representa los estados en los que puede encontrarse una máquina de inyección, permitiendo visualizar que el tiempo muerto corresponde al periodo en el cual el equipo permanece en estado no operativo, ya sea por reparación, diagnóstico o espera, afectando directamente su disponibilidad.

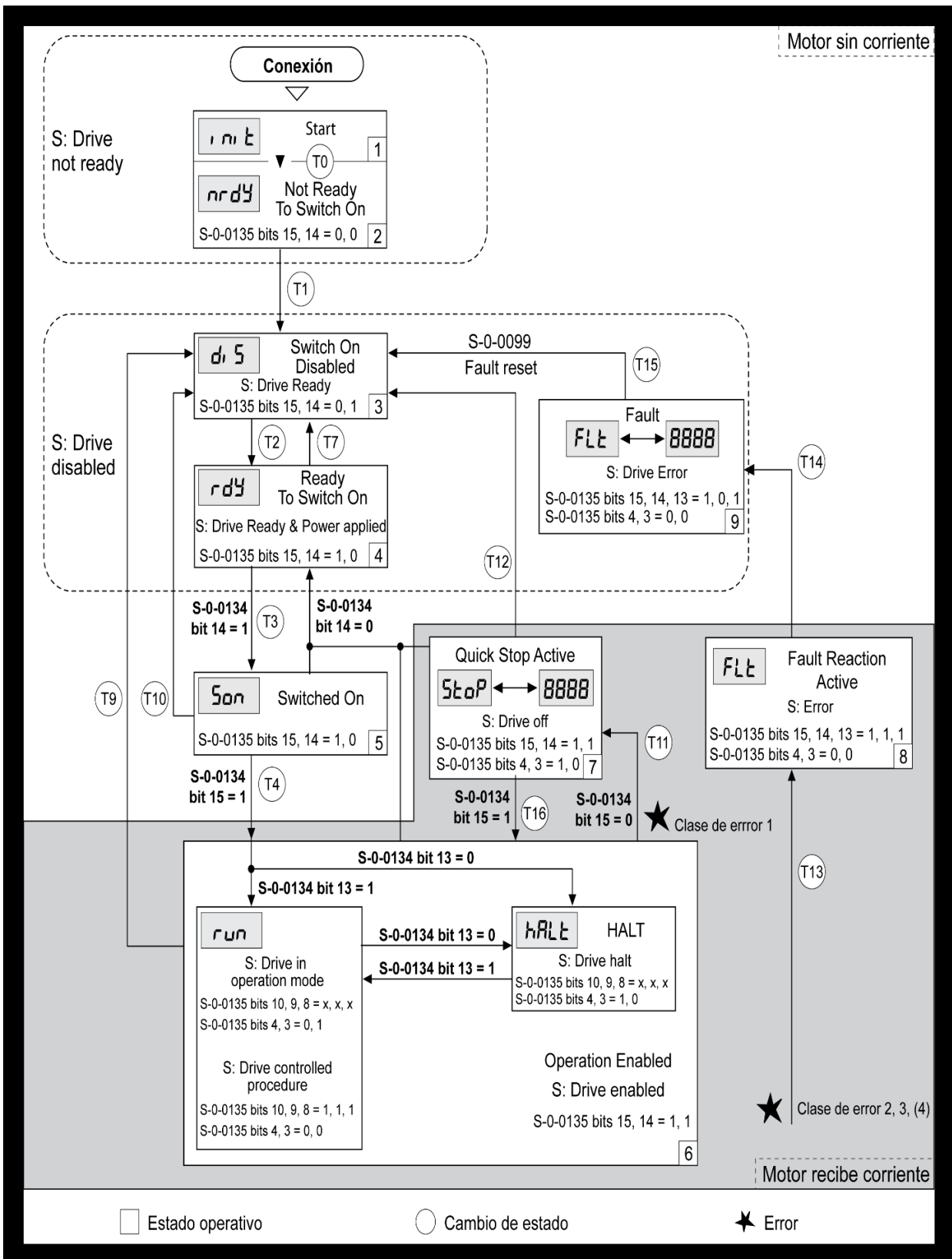


Ilustración 37. Diagrama de estados y transiciones de estado. schneider-electric.com

5.4.3 Tiempo de reparación (MTTR) y componentes del proceso de atención a fallas

El tiempo de reparación es una variable crítica dentro del análisis del desempeño del mantenimiento, ya que influye directamente en la disponibilidad de los equipos y, por ende, en la continuidad del proceso productivo. En ingeniería de mantenimiento, este tiempo se expresa comúnmente mediante el indicador MTTR (Mean Time To Repair), el cual representa el tiempo promedio requerido para restablecer un equipo a condiciones operativas después de una falla.

De acuerdo con la International Electrotechnical Commission, el tiempo de reparación se define como el intervalo comprendido entre el inicio de la acción de mantenimiento correctivo y el momento en que el equipo es restituido a un estado capaz de desempeñar su función requerida (IEC, 2015). Esta definición establece que el tiempo de reparación no se limita únicamente a la intervención técnica directa, sino que incluye todas las actividades necesarias para devolver el equipo a operación.

Diversos autores señalan que el MTTR está conformado por múltiples subcomponentes del proceso de atención a fallas, los cuales, al no gestionarse adecuadamente, incrementan de forma significativa el tiempo muerto total. Entre estos componentes se encuentran el tiempo de detección de la falla, el tiempo de diagnóstico, el tiempo de espera (por refacciones, herramientas, apoyo o autorizaciones), el tiempo efectivo de reparación y el tiempo de verificación y puesta en marcha (Dhillon, 2002).

En este contexto, Moubray señala que una parte considerable de las pérdidas por indisponibilidad se origina fuera del tiempo de intervención física, particularmente en actividades previas como el diagnóstico incorrecto o incompleto, así como en demoras asociadas a la organización del trabajo y la asignación de recursos (Moubray, 1997). Esto resulta especialmente relevante en procesos industriales complejos, como la inyección de plástico, donde los sistemas hidráulicos, eléctricos y de control requieren personal capacitado y acceso inmediato a información técnica.

Por lo tanto, el análisis del MTTR debe abordarse como un proceso integral, en el cual cada una de sus etapas puede convertirse en una fuente de tiempo muerto. La identificación y reducción de estos tiempos parciales permite mejorar la eficiencia del mantenimiento correctivo y reducir el impacto de las fallas sobre la disponibilidad de las máquinas. Este enfoque es fundamental para el presente proyecto, ya que permite analizar de manera estructurada cómo se genera el tiempo muerto durante la reparación de las máquinas de inyección en la planta Motherson Tlaxcala. La figura permite visualizar que el MTTR está compuesto por diferentes etapas, muchas de las cuales no corresponden al tiempo de reparación directa, pero que influyen significativamente en el tiempo muerto total del equipo.



Ilustración 38. Componentes del tiempo de reparación (MTTR) en el mantenimiento correctivo. Fractal

5.4.4 Diagnóstico de fallas y su impacto en el tiempo muerto

El diagnóstico de fallas constituye una de las etapas más críticas dentro del proceso de mantenimiento correctivo, ya que de su precisión y oportunidad depende en gran medida la duración total del tiempo muerto. En equipos industriales complejos, como las máquinas de inyección de plástico, un diagnóstico incorrecto o incompleto puede generar intervenciones innecesarias, repetición de fallas, sustitución inadecuada de componentes y prolongación del tiempo de paro.

Desde el enfoque de la ingeniería de mantenimiento, el diagnóstico de fallas se define como el proceso sistemático mediante el cual se identifica la causa raíz de una desviación en el funcionamiento normal de un equipo, a partir de la observación de síntomas, mediciones y análisis del comportamiento del sistema (Mobley, 2002). Este proceso requiere no solo conocimientos técnicos, sino también información confiable, experiencia del personal y procedimientos estructurados.

Mobley señala que una de las principales causas de tiempos muertos excesivos es la dependencia de diagnósticos basados únicamente en la experiencia individual, lo que incrementa la variabilidad en los tiempos de atención y reduce la repetibilidad del proceso de mantenimiento (Mobley, 2002). Esta situación es común en entornos donde no existen métodos estandarizados de diagnóstico o donde la información técnica no se encuentra disponible de forma inmediata para el personal de mantenimiento.

Por su parte, Dhillon indica que el tiempo dedicado al diagnóstico puede representar una proporción significativa del tiempo total de reparación, especialmente en sistemas donde coexisten componentes mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos, como ocurre en las máquinas de inyección (Dhillon, 2002). En estos casos, la falta de una secuencia lógica de diagnóstico provoca recorridos innecesarios, pruebas repetitivas y dependencia de apoyo adicional, lo que incrementa el tiempo muerto del equipo.

Asimismo, la literatura técnica resalta que la ausencia de procedimientos estandarizados de diagnóstico dificulta la identificación rápida de la falla y limita la transferencia de

conocimiento entre técnicos. Moubray enfatiza que la estandarización de métodos no busca reemplazar la experiencia del personal, sino reducir la variabilidad del proceso y asegurar una respuesta consistente ante fallas similares (Moubray, 1997).

En el contexto del presente proyecto, el análisis del diagnóstico de fallas resulta fundamental, ya que permite identificar cómo factores como la experiencia del técnico, la disponibilidad de información técnica, la comunicación con producción y la falta de guías estructuradas influyen directamente en el tiempo muerto durante la reparación de las máquinas de inyección en la planta Motherson Tlaxcala.

La figura siguiente permite visualizar que el diagnóstico de fallas es un proceso secuencial y estructurado, cuyo desempeño influye directamente en la duración del tiempo muerto, especialmente cuando no existen métodos estandarizados.

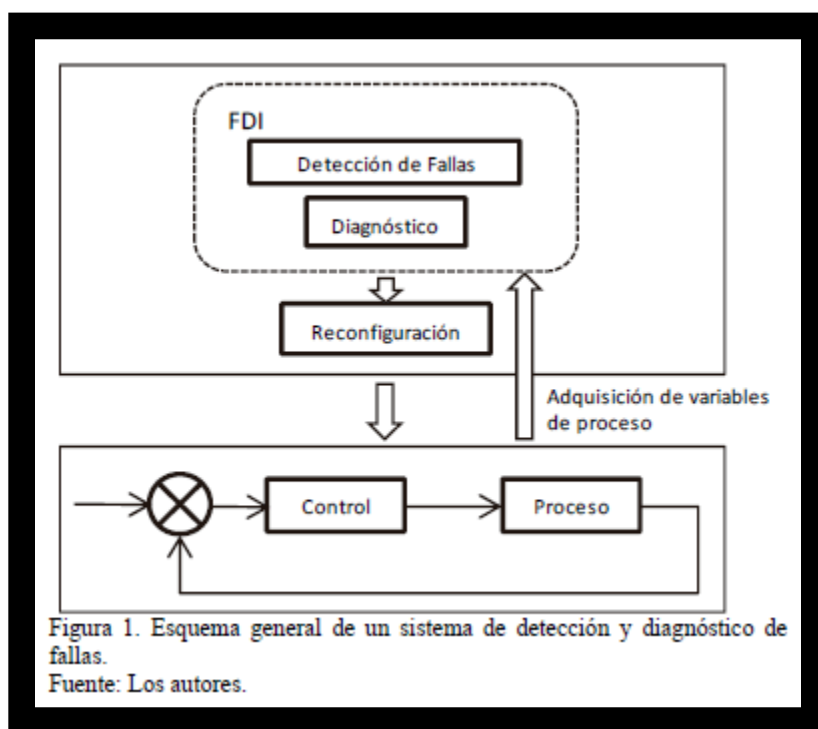


Ilustración 39. Detección y diagnóstico de fallas mediante técnicas de inteligencia artificial, un estado del arte. redalyc.org

5.4.5 Estandarización de procedimientos de mantenimiento y diagnóstico

La estandarización de procedimientos en mantenimiento industrial constituye una estrategia fundamental para reducir la variabilidad en la atención a fallas y mejorar la consistencia en los tiempos de respuesta. En procesos productivos con alta dependencia de equipos

automatizados, como las máquinas de inyección, la ausencia de procedimientos estandarizados genera diferencias significativas en la forma de diagnosticar y reparar fallas similares, lo que incrementa el tiempo muerto y dificulta el control del desempeño del mantenimiento.

Desde el enfoque normativo, la International Organization for Standardization establece que los procedimientos documentados permiten asegurar que las actividades se realicen de manera uniforme y controlada, facilitando la repetibilidad de los procesos y la trazabilidad de las acciones realizadas (ISO, 2015). En el contexto del mantenimiento, esto implica definir de forma clara las secuencias de diagnóstico, los pasos de intervención, los criterios de aceptación y las condiciones de liberación del equipo.

Moubray señala que la estandarización no busca limitar la capacidad técnica del personal, sino reducir la dependencia de la experiencia individual y garantizar que las decisiones críticas se tomen con base en un método común, especialmente durante situaciones de presión operativa (Moubray, 1997). Esta afirmación resulta relevante para entornos industriales donde existe rotación de personal, distintos niveles de experiencia y atención simultánea de múltiples fallas.

Asimismo, la literatura especializada indica que la falta de procedimientos estandarizados incrementa el tiempo dedicado al diagnóstico, ya que los técnicos deben definir de manera empírica la secuencia de pruebas, lo que genera recorridos innecesarios, repetición de actividades y mayor probabilidad de error (Dhillon, 2002). En contraste, los procedimientos estandarizados permiten reducir el tiempo de identificación de la causa raíz y mejorar la eficiencia del mantenimiento correctivo.

Desde una perspectiva de mejora continua, la estandarización también facilita la documentación del conocimiento técnico, permitiendo que las mejores prácticas derivadas de la experiencia se integren en guías, checklists o instructivos. Mobley indica que la documentación sistemática de los procedimientos de mantenimiento contribuye a mejorar la

confiabilidad de los equipos y a disminuir los tiempos de reparación, al proporcionar al personal una referencia técnica clara y accesible (Mobley, 2002).

En el marco del presente proyecto, la estandarización de procedimientos de diagnóstico y reparación se plantea como un elemento clave para reducir el tiempo muerto en las máquinas de inyección de la planta Motherson Tlaxcala, al permitir una atención más rápida, consistente y controlada de las fallas, independientemente del técnico asignado. La figura 40 muestra cómo la estandarización permite definir una secuencia clara de actividades, reduciendo la variabilidad en el proceso de diagnóstico y reparación, lo que impacta directamente en la disminución del tiempo muerto.

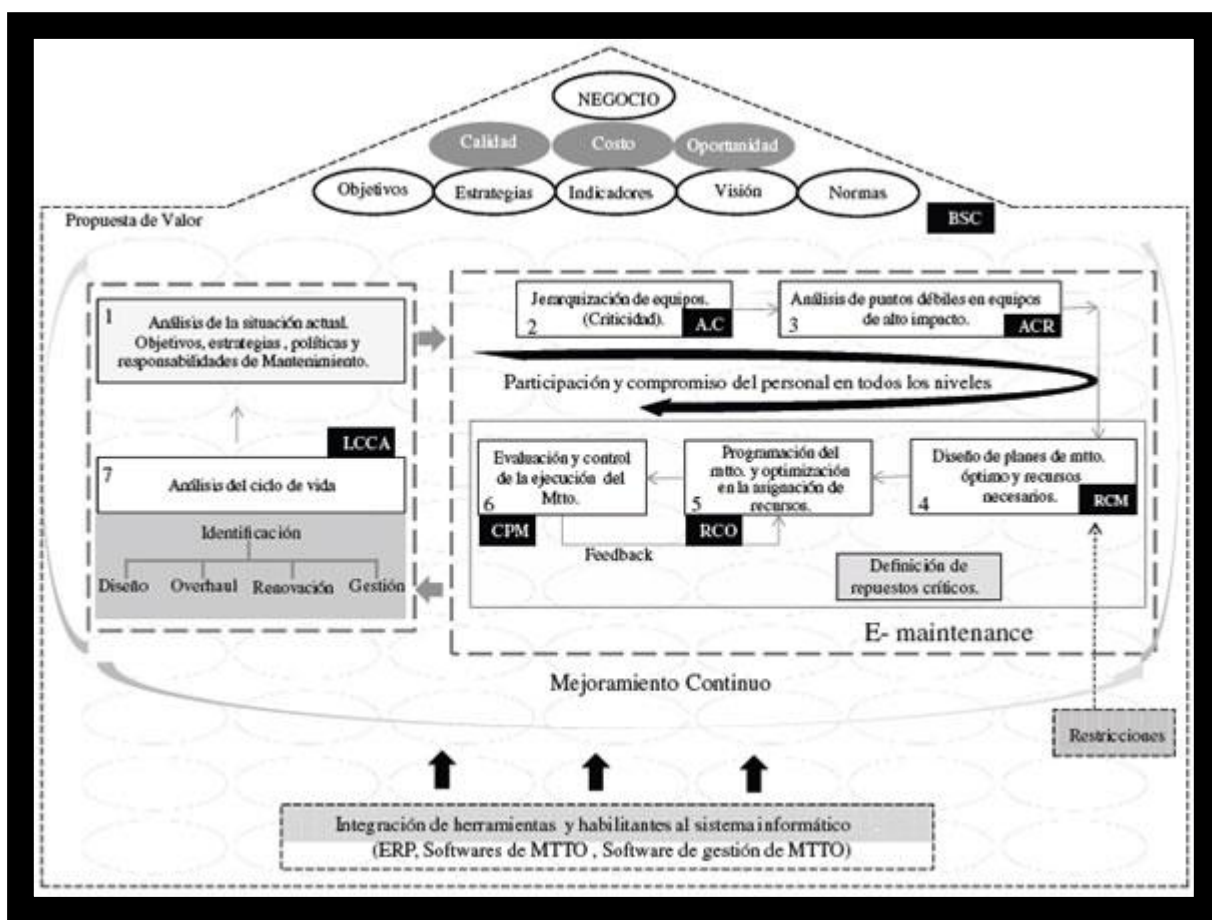


Ilustración 40. Estructura general de un procedimiento estandarizado de mantenimiento. scielo.cl

5.4.6 Comunicación entre producción y mantenimiento y su influencia en el tiempo

muerto

La comunicación entre las áreas de producción y mantenimiento es un elemento crítico para la gestión eficiente de fallas en entornos industriales. Una comunicación deficiente o tardía puede incrementar significativamente el tiempo muerto de los equipos, aun cuando la capacidad técnica para realizar la reparación esté disponible. En sistemas productivos automatizados, como las máquinas de inyección, la rapidez y claridad en la transmisión de la información relacionada con la falla resulta determinante para la reducción del tiempo de paro.

Desde el enfoque de la gestión del mantenimiento, la notificación oportuna y precisa de una falla permite iniciar de manera inmediata el proceso de atención, reduciendo el tiempo de detección y evitando demoras innecesarias en la asignación de recursos. Wireman señala que una de las principales causas de baja efectividad del mantenimiento correctivo es la falta de canales formales de comunicación, lo que provoca que las fallas no sean atendidas con la prioridad adecuada o que la información transmitida sea incompleta (Wireman, 2005).

Asimismo, la literatura especializada indica que la comunicación deficiente entre producción y mantenimiento suele generar errores en la priorización de fallas, especialmente cuando no existen criterios claros para distinguir eventos críticos de aquellos que pueden ser atendidos de manera diferida. Kelly afirma que la ausencia de un sistema estructurado de comunicación y priorización incrementa los tiempos de espera y contribuye a una utilización ineficiente del personal técnico (Kelly, 2014).

En el contexto del mantenimiento industrial, la comunicación no se limita al reporte inicial de la falla, sino que incluye el seguimiento del evento, la retroalimentación sobre el estado del equipo y la coordinación durante la reparación. Dhillon señala que la falta de comunicación efectiva durante estas etapas puede generar interrupciones en la intervención, duplicidad de actividades y retrasos en la liberación del equipo, incrementando el tiempo muerto total (Dhillon, 2002).

Por lo tanto, una comunicación estructurada y estandarizada entre producción y mantenimiento constituye un factor clave para la reducción del tiempo muerto, ya que permite mejorar la toma de decisiones, optimizar la asignación de recursos y asegurar una atención más rápida y efectiva de las fallas. Este enfoque es especialmente relevante para el presente proyecto, dado que durante las residencias profesionales en la planta Motherson Tlaxcala se identificaron problemáticas asociadas a la notificación de fallas, la disponibilidad

de medios de comunicación y la priorización de eventos críticos, las cuales impactan directamente en la duración del tiempo de paro de las máquinas de inyección. La figura 41 permite visualizar cómo una comunicación estructurada entre producción y mantenimiento reduce tiempos de espera, mejora la priorización de fallas y contribuye a la disminución del tiempo muerto de los equipos.

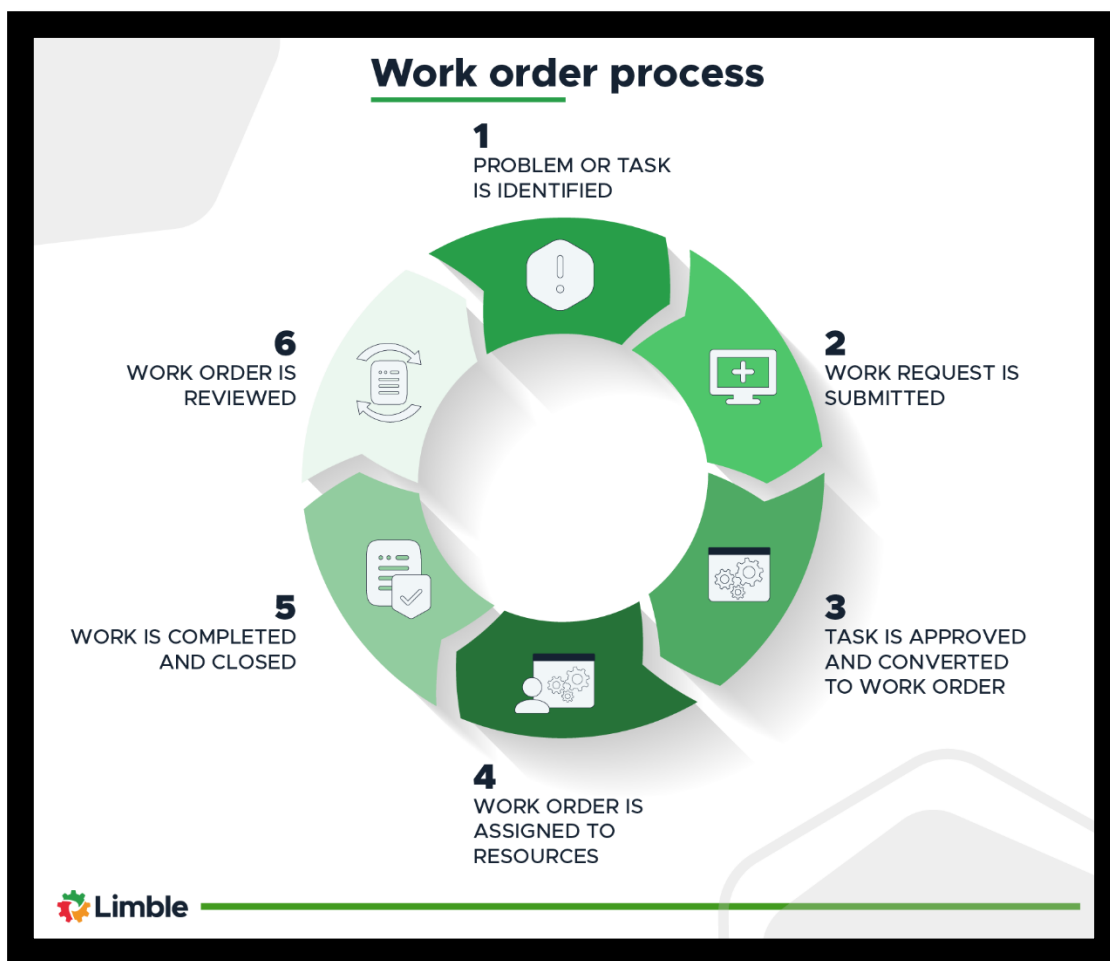


Ilustración 41. Flujo de comunicación entre producción y mantenimiento durante la atención de fallas. "Diagrama elaborado con base en Wireman (2005) y Kelly (2014)."

5.4.7 Priorización de fallas y gestión del trabajo de mantenimiento

La priorización de fallas es un elemento clave dentro de la gestión del mantenimiento, ya que determina el orden y la rapidez con la que los recursos técnicos son asignados a los distintos eventos que afectan la operación. En entornos industriales con múltiples equipos críticos, como las máquinas de inyección, una priorización inadecuada puede generar incrementos significativos en el tiempo muerto, aun cuando la capacidad de reparación exista.

Desde la perspectiva de la gestión del mantenimiento, la priorización de fallas debe basarse en criterios objetivos relacionados con el impacto en la producción, la seguridad, la calidad del producto y el riesgo operativo. Kelly señala que la ausencia de criterios formales de priorización conduce a decisiones reactivas y subjetivas, provocando que fallas críticas sean atendidas con el mismo nivel de urgencia que fallas menores, lo cual incrementa los tiempos de paro y reduce la efectividad del mantenimiento (Kelly, 2014).

Asimismo, Wireman indica que una gestión eficiente del trabajo de mantenimiento requiere la clasificación de las fallas de acuerdo con su criticidad, permitiendo asignar de manera óptima al personal técnico, las herramientas y las refacciones disponibles (Wireman, 2005). Cuando esta clasificación no existe o no es comprendida por las áreas involucradas, se generan tiempos de espera, reprogramaciones constantes y desviaciones en los tiempos de reparación.

Desde el enfoque técnico, la priorización de fallas se apoya en metodologías de análisis de riesgo, donde se evalúa la probabilidad de ocurrencia de la falla y la severidad de sus consecuencias. Dhillon señala que la gestión del mantenimiento debe integrar criterios de riesgo para asegurar que los recursos se enfoquen en aquellos eventos que generan mayores pérdidas por indisponibilidad o afectan la seguridad del proceso (Dhillon, 2002).

En el caso de las máquinas de inyección, una falla puede tener impactos distintos dependiendo del punto del proceso productivo, el volumen de producción comprometido y la disponibilidad de equipos alternos. Por ello, la definición de niveles de prioridad permite reducir el tiempo muerto asociado a la toma de decisiones, mejorar la coordinación entre producción y mantenimiento y asegurar una atención oportuna de las fallas críticas. Este enfoque resulta especialmente relevante para el presente proyecto, ya que durante las residencias profesionales en la planta Motherson Tlaxcala se identificó la atención simultánea de múltiples fallas sin un criterio formal de prioridad, lo que contribuye a la prolongación de los tiempos de paro. La figura 42 permite visualizar cómo la clasificación de fallas según su criticidad facilita la toma de decisiones, reduce tiempos de espera y optimiza la asignación de recursos, contribuyendo a la disminución del tiempo muerto.

Mejoramiento de la madurez de la organización para el mantenimiento									
Acciones a implementar Aspectos de la madurez considerados	Nec.	Nec.	Nec.	Nec.	Nec.	Nec.	Nec.	Nec.	Nec.
	Crear canales de comunicación efectivos	Capacitación en relaciones inter-personales	Capacitación en evaluación de proyectos	Planeamiento de los trabajos operacionales y uso de los recursos	Planeamiento de la ejecución de los proyectos uso del CPM, PERT y GANTT	Formalizar los canales y sistemas de información	Implementar estrategias para obtener de las personas retro-alimentación	Mostrar beneficios obtenidos en proyectos anteriores y motivar la participación	Conocer e integrar a los profesionales para formar equipos de trabajo eficientes
Mostrar resultados obtenidos por el desarrollo de proyectos de innovación del mantenimiento	1				1	1		1	
Conformar equipos multidisciplinarios para el mejoramiento de los proyectos		1						1	
Tener apoyo constante de toda la organización en el cambio	1					1		1	
Poseer equipos multidisciplinarios para estudio e implementación de proyectos		1		1					1
Tener alta productividad en las etapas iniciales del proyecto de mantenimiento	1		1	1	1		1		1
Tener alto nivel de apoyo para la implementación de los cambios		1				1		1	
Obtener un reconocimiento positivo para los cambios	1							1	
Tener entre las personas una cultura para los cambios							1	1	
Tener equipos de personas con alta eficiencia en el trabajo		1	1				1		1
Constituir equipos de profesionales homogéneos de trabajo		1							1
Número de impactos	4	5	2	2	2	3	3	6	4
Orden de las prioridades para la implementación	5	4	10	6	6	1	9	2	8
Nivel actual de la madurez									

Ilustración 42. Matriz de priorización de fallas en mantenimiento industria. Información Tecnológica.

5.4.8 Gestión de refacciones y recursos (MRO) y su impacto en el tiempo muerto

La gestión de refacciones y recursos de mantenimiento (MRO) es un factor determinante en la duración del tiempo muerto de los equipos industriales. En procesos altamente automatizados, como las máquinas de inyección, la indisponibilidad de una refacción crítica puede prolongar significativamente el paro del equipo, aun cuando el diagnóstico de la falla y la capacidad técnica para realizar la reparación ya se encuentren disponibles.

Desde el enfoque de la ingeniería de mantenimiento, se reconoce que el tiempo muerto no solo está asociado al tiempo efectivo de reparación, sino también a los tiempos de espera por materiales, herramientas o recursos. La International Organization for Standardization establece que la planeación y control del mantenimiento deben asegurar la disponibilidad

oportuna de los recursos necesarios para ejecutar las actividades programadas y no programadas, con el fin de minimizar la indisponibilidad de los activos (ISO, 2017).

Kelly señala que una gestión inadecuada de refacciones conduce a paros prolongados debido a compras urgentes, búsqueda de materiales alternos o reprogramación de trabajos, lo cual incrementa el costo del mantenimiento y reduce la disponibilidad del equipo (Kelly, 2014). Esta situación es frecuente cuando no existe una identificación clara de refacciones críticas, ni un control estructurado del inventario de mantenimiento.

Asimismo, Wireman indica que la falta de integración entre el área de mantenimiento y el sistema de inventarios provoca que los técnicos inviertan tiempo considerable en la localización de refacciones, validación de existencias o espera de autorizaciones, actividades que no agregan valor al proceso de reparación y que contribuyen directamente al aumento del tiempo muerto (Wireman, 2005).

Desde una perspectiva técnica, Dhillon señala que la gestión de refacciones debe basarse en el análisis de criticidad del equipo y de los componentes, de manera que los recursos se asignen de forma prioritaria a aquellos elementos cuya falla genera mayores pérdidas por indisponibilidad o riesgo operativo (Dhillon, 2002). En el caso de las máquinas de inyección, componentes como sensores, válvulas hidráulicas, resistencias, contactores y módulos electrónicos suelen representar puntos críticos cuya falta impacta de forma directa el tiempo de paro.

En el contexto del presente proyecto, la gestión de refacciones se identifica como una causa relevante del tiempo muerto en la reparación de las máquinas de inyección en la planta Motherson Tlaxcala, debido a la falta de disponibilidad inmediata de ciertos componentes y a la ausencia de criterios formales para la clasificación y control de refacciones críticas. Por ello, el análisis de este factor resulta indispensable para proponer mejoras orientadas a la reducción del tiempo de paro y al fortalecimiento del proceso de mantenimiento. La figura 43 permite visualizar cómo la gestión adecuada de refacciones reduce los tiempos de espera durante la reparación y contribuye a la disminución del tiempo muerto de los equipos.

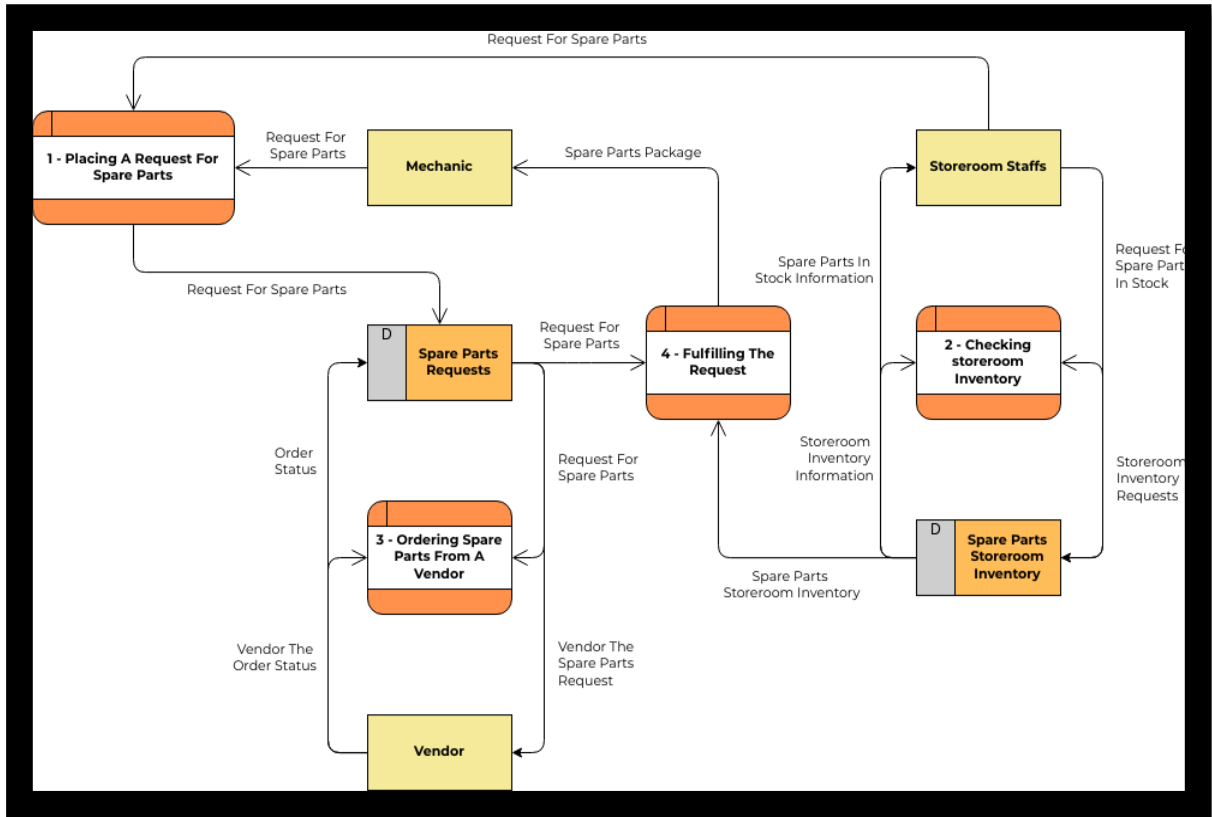


Ilustración 43. Proceso general de gestión de refacciones en mantenimiento industrial. "Diagrama elaborado con base en ISO 55000 y Kelly (2014)."

5.4.9 Capacitación técnica y gestión del conocimiento en el mantenimiento industrial

La capacitación técnica del personal de mantenimiento y la gestión del conocimiento son factores determinantes en la eficiencia del proceso de atención a fallas y, por consiguiente, en la duración del tiempo muerto de los equipos. En sistemas industriales complejos, como las máquinas de inyección de plástico, el desempeño del mantenimiento depende en gran medida del nivel de competencia técnica del personal y de su capacidad para aplicar de forma consistente los métodos de diagnóstico y reparación.

Desde el enfoque de la ingeniería de mantenimiento, se reconoce que la experiencia del técnico influye directamente en la rapidez y precisión del diagnóstico. Mobley señala que el conocimiento técnico acumulado permite identificar patrones de falla, reducir pruebas innecesarias y seleccionar de manera más efectiva las acciones correctivas, lo que contribuye

a disminuir el tiempo total de reparación (Mobley, 2002). Sin embargo, cuando dicho conocimiento no se encuentra documentado ni estandarizado, se genera una dependencia excesiva del personal experimentado, aumentando la variabilidad en los tiempos de atención.

Moubray indica que la falta de capacitación estructurada y de mecanismos para la transferencia del conocimiento técnico incrementa la probabilidad de errores de diagnóstico y prolonga los tiempos muertos, especialmente cuando el personal con mayor experiencia no se encuentra disponible (Moubray, 1997). En este sentido, la capacitación no debe entenderse únicamente como la adquisición de conocimientos teóricos, sino como un proceso continuo orientado a la aplicación práctica y a la mejora del desempeño del mantenimiento.

Asimismo, Dhillon señala que la gestión del conocimiento en mantenimiento debe incluir la documentación sistemática de fallas recurrentes, procedimientos de reparación, lecciones aprendidas y mejores prácticas, con el objetivo de reducir la curva de aprendizaje del personal técnico y mejorar la confiabilidad de los equipos (Dhillon, 2002). La ausencia de estos mecanismos provoca que los técnicos inviertan tiempo adicional en la búsqueda de información o dependan del apoyo de terceros, incrementando el tiempo muerto del equipo.

Desde una perspectiva organizacional, la International Organization for Standardization establece que la competencia del personal es un elemento clave para asegurar la calidad de los procesos, por lo que las organizaciones deben determinar las competencias necesarias, proporcionar capacitación y evaluar la eficacia de las acciones realizadas (ISO, 2015). Este enfoque es aplicable al mantenimiento industrial, donde la capacitación técnica adecuada contribuye a una atención más rápida y efectiva de las fallas.

En el contexto del presente proyecto, la capacitación técnica y la gestión del conocimiento se identifican como factores relevantes en la generación de tiempo muerto durante la reparación de las máquinas de inyección en la planta Mothersen Tlaxcala. La variabilidad en la experiencia del personal y la falta de documentación estandarizada influyen directamente en los tiempos de diagnóstico y reparación, por lo que su análisis resulta fundamental para proponer mejoras orientadas a la reducción del tiempo de paro. La figura 44 permite

visualizar cómo la capacitación técnica y la gestión del conocimiento influyen directamente en la reducción del tiempo muerto, al disminuir la variabilidad en el diagnóstico y la reparación de fallas.



Ilustración 44. Relación entre capacitación técnica, experiencia y tiempo de reparación. "Diagrama elaborado con base en Mobley (2002) y ISO 9001:2015."

5.4.10 Indicadores de desempeño en mantenimiento: MTTR, MTBF y disponibilidad

La medición del desempeño del mantenimiento industrial se apoya en indicadores clave que permiten evaluar de manera objetiva la efectividad de las acciones realizadas y su impacto en la operación. Entre los indicadores más utilizados para el análisis de fallas y tiempos muertos se encuentran el MTTR (Mean Time To Repair), el MTBF (Mean Time Between Failures) y la disponibilidad, los cuales constituyen una base técnica para la toma de decisiones y la mejora continua.

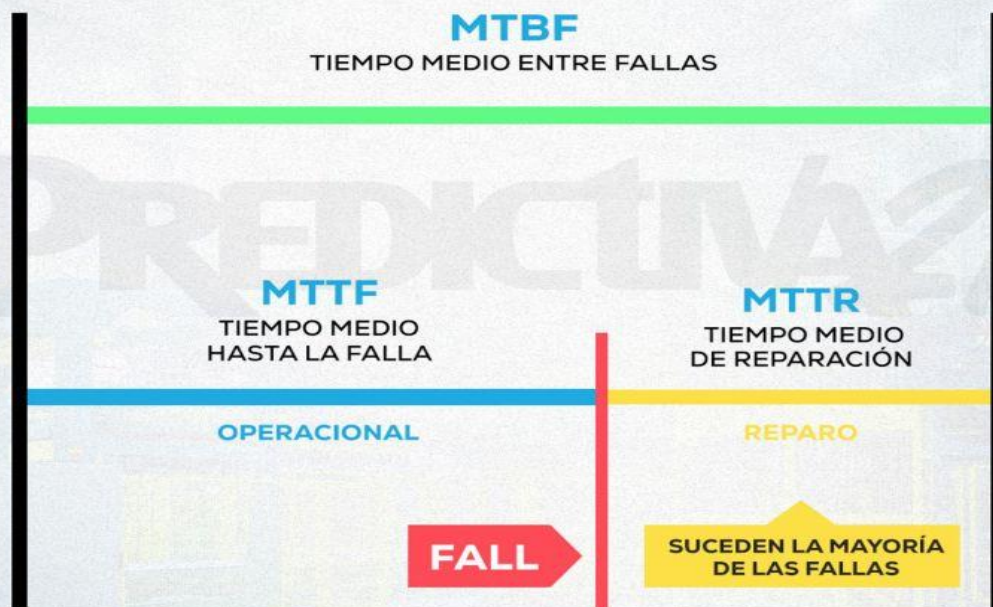
De acuerdo con la International Electrotechnical Commission, el MTTR se define como el tiempo promedio requerido para restaurar un elemento a un estado en el que pueda desempeñar su función requerida después de una falla, considerando todas las actividades asociadas al mantenimiento correctivo (IEC, 2015). Este indicador resulta especialmente relevante en el presente proyecto, ya que permite cuantificar el impacto de los procesos de diagnóstico, espera, reparación y puesta en marcha sobre el tiempo muerto total de las máquinas de inyección.

Por otro lado, el MTBF representa el tiempo promedio transcurrido entre fallas consecutivas de un equipo, y se utiliza como una medida de confiabilidad operacional. Dhillon señala que el MTBF proporciona información sobre el comportamiento del equipo a lo largo del tiempo y permite identificar patrones de falla que pueden ser abordados mediante estrategias preventivas o de mejora del diseño (Dhillon, 2002). Aunque el enfoque principal de este proyecto se centra en la reducción del tiempo muerto, el análisis del MTBF resulta complementario para comprender la frecuencia de las fallas y su relación con la carga operativa del equipo.

La disponibilidad integra ambos indicadores, ya que depende tanto de la frecuencia de las fallas como del tiempo requerido para su reparación. Según la IEC, la disponibilidad expresa la probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones operativas en un instante o intervalo de tiempo determinado, y puede calcularse a partir del MTBF y el MTTR (IEC, 2015). Moubray destaca que la mejora de la disponibilidad puede lograrse reduciendo el número de fallas o disminuyendo el tiempo de reparación, siendo esta última una de las estrategias más rápidas y viables en entornos industriales (Moubray, 1997).

En este sentido, el uso sistemático de indicadores como MTTR, MTBF y disponibilidad permite medir de forma objetiva el desempeño del mantenimiento, identificar áreas de oportunidad y evaluar la efectividad de las mejoras implementadas. Para el presente proyecto, estos indicadores constituyen una herramienta fundamental para demostrar el impacto de las acciones propuestas sobre la reducción del tiempo muerto en las máquinas de inyección de la planta Motherson Tlaxcala, así como para sustentar los resultados obtenidos durante el desarrollo de las residencias profesionales. La figura 45 permite visualizar cómo la reducción del MTTR impacta directamente en el incremento de la disponibilidad del equipo, aun cuando la frecuencia de fallas se mantenga constante.

DIFERENCIA ENTRE MTBF, MTTF Y MTTR



PREDICTIVA21

Ilustración 45. Relación entre MTTR, MTBF y disponibilidad en equipos industriales. [Linkedin.com](#)

5.5 Metodología

5.5.1 Tipo de investigación

El presente proyecto se desarrolla bajo un enfoque de investigación aplicada, debido a que se orienta a la solución de una problemática real identificada dentro del entorno industrial, específicamente en el área de mantenimiento de máquinas de inyección en la planta Motherson Tlaxcala. La investigación aplicada se caracteriza por utilizar conocimientos teóricos y técnicos con el propósito de generar mejoras prácticas en procesos existentes o, en este caso, en la definición y estructuración de un proceso que actualmente no se encuentra formalmente establecido.

Durante el desarrollo de las residencias profesionales se detectó que no existe un procedimiento formal y documentado para la atención de fallas en máquinas de inyección, lo que ha derivado en procesos de mantenimiento correctivo extensos, falta de seguimiento a las actividades realizadas y una comunicación deficiente entre las áreas involucradas. Ante esta situación, el proyecto no se limita únicamente a describir el problema, sino que busca analizar el proceso actual, identificar sus deficiencias y proponer un nuevo procedimiento estructurado que permita reducir los tiempos muertos y mejorar la eficiencia del mantenimiento.

5.5.2 Enfoque metodológico

El enfoque metodológico del proyecto es mixto, ya que combina elementos cuantitativos y cualitativos para el análisis del problema y el desarrollo de la propuesta de mejora.

El enfoque cuantitativo se aplica mediante la medición de variables relacionadas con el tiempo muerto, tales como tiempos de diagnóstico, tiempos de espera, tiempos de reparación y duración total de los paros en las máquinas de inyección. Estos datos permiten evaluar objetivamente la magnitud del problema y establecer una línea base para la comparación de resultados.

Por otro lado, el enfoque cualitativo se utiliza para analizar aspectos relacionados con la forma en que actualmente se ejecutan las actividades de mantenimiento correctivo, tales como la inexistencia de un procedimiento claro de acción, la falta de seguimiento a los formatos utilizados, las dificultades operativas durante la atención de fallas y los problemas

de comunicación entre producción y mantenimiento. Este enfoque permite comprender el contexto real del proceso y las causas que influyen en la generación del tiempo muerto.

La combinación de ambos enfoques resulta necesaria debido a que el problema identificado no depende únicamente de variables medibles, sino también de factores organizacionales, humanos y de gestión del proceso.

5.5.3 Alcance de la investigación.

El alcance de la presente investigación es descriptivo y propositivo, ya que se orienta al análisis detallado de la situación actual del proceso de mantenimiento correctivo en máquinas de inyección y a la generación de una propuesta de mejora estructurada.

Desde el enfoque descriptivo, el proyecto se centra en documentar y analizar el proceso real que actualmente se lleva a cabo para la atención de fallas en las máquinas de inyección, considerando que no existe un procedimiento formalmente establecido. En esta etapa se identifican las actividades ejecutadas, las omisiones, las dificultades operativas, los tiempos involucrados y las deficiencias del proceso, con el objetivo de detectar los defectos más relevantes que generan tiempos muertos excesivos durante la reparación de los equipos.

Desde el enfoque propositivo, el proyecto contempla el diseño de un nuevo proceso estructurado de atención a fallas, que incluya un procedimiento claro de ejecución, criterios de comunicación, mecanismos de seguimiento y control, así como lineamientos orientados a la reducción del tiempo muerto. Sin embargo, debido a las limitaciones de tiempo propias del periodo de residencias profesionales, el alcance del proyecto no considera la implementación completa del plan de acción propuesto, enfocándose principalmente en la identificación, análisis y documentación de las principales áreas de oportunidad del proceso actual.

En este sentido, el proyecto tiene como alcance identificar y priorizar los defectos más importantes localizados en el proceso de mantenimiento correctivo, sentando las bases técnicas y metodológicas para que las acciones de mejora propuestas puedan ser implementadas y evaluadas posteriormente por el área correspondiente.

Asimismo, el estudio se limita al área de mantenimiento de máquinas de inyección en la planta Motherson Tlaxcala y no contempla modificaciones al diseño de los equipos ni cambios estructurales en la infraestructura de la planta.

5.5.4 Tipo de diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación es no experimental, debido a que las variables de estudio no son manipuladas de manera intencional, sino que se analizan tal como ocurren en su contexto real dentro del área de mantenimiento de máquinas de inyección en la planta Motherson Tlaxcala.

El estudio se centra en la observación, análisis y documentación del proceso actual de mantenimiento correctivo, considerando que no existe un procedimiento formal de acción para la reparación de las máquinas de inyección. Por lo tanto, el investigador se limita a recopilar información del entorno operativo real, sin intervenir directamente en la modificación de las condiciones del proceso.

Este tipo de diseño resulta adecuado para identificar deficiencias, prácticas actuales, tiempos muertos y problemáticas operativas, las cuales posteriormente sirven como base para el desarrollo de una propuesta de mejora estructurada.

Método de estudio

El método de estudio adoptado es el estudio de caso, ya que la investigación se enfoca en el análisis detallado de una situación específica dentro de una organización determinada. En este caso, el estudio se realiza en el área de mantenimiento de máquinas de inyección de la planta Motherson Tlaxcala, donde se identificó la problemática relacionada con los tiempos muertos excesivos durante el mantenimiento correctivo.

El estudio de caso permite analizar de forma profunda el contexto real del proceso, las condiciones operativas, las interacciones entre las áreas involucradas y las prácticas actuales del personal técnico, lo cual resulta fundamental para comprender el origen de las deficiencias detectadas y proponer mejoras acordes a la realidad de la planta.

Temporalidad del estudio

La investigación presenta un diseño de tipo transversal, debido a que la recopilación y el análisis de la información se realizan durante un periodo específico, correspondiente al desarrollo de las residencias profesionales.

Durante este periodo se lleva a cabo la observación del proceso actual de mantenimiento correctivo, la identificación de los defectos más importantes en la atención de fallas y la recopilación de datos relacionados con los tiempos muertos. No se consideran mediciones longitudinales posteriores a la implementación del plan de acción, ya que, como se establece

en el alcance del proyecto, no se cuenta con el tiempo suficiente para ejecutar y evaluar la implementación completa de las mejoras propuestas.

5.5.5 Contexto organizacional

El desarrollo del presente proyecto se lleva a cabo en la planta Motherson Tlaxcala, empresa del sector automotriz dedicada a la manufactura de componentes plásticos mediante procesos de inyección. Dentro de esta planta, el área de mantenimiento desempeña un papel fundamental para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos productivos, especialmente de las máquinas de inyección, las cuales representan un elemento crítico para la continuidad del proceso productivo.

Durante el periodo de residencias profesionales, el residente se integra al área de mantenimiento, participando activamente en la observación y análisis de los procesos de mantenimiento correctivo aplicados a las máquinas de inyección. Esta integración permite conocer de primera mano las condiciones reales de operación, las prácticas actuales del personal técnico y las problemáticas asociadas a la atención de fallas.

Área de aplicación

El área de aplicación del proyecto corresponde al mantenimiento de máquinas de inyección de plástico, específicamente en lo relacionado con el mantenimiento correctivo y la atención a fallas no programadas. Este enfoque se selecciona debido a que, durante el diagnóstico inicial, se identificó que los mayores tiempos muertos se generan durante la reparación de los equipos, como resultado de la ausencia de un procedimiento formal, deficiencias en la comunicación y falta de seguimiento a las actividades realizadas.

El proyecto no contempla actividades de mantenimiento preventivo ni modificaciones al diseño de las máquinas, ya que el objetivo principal es analizar y mejorar el proceso de atención a fallas existente.

Unidad de análisis

La unidad de análisis del presente estudio está conformada por los eventos de falla ocurridos en las máquinas de inyección, así como por el proceso de mantenimiento correctivo que se ejecuta para su atención. Cada evento de falla es analizado considerando las actividades realizadas desde la detección del problema hasta la liberación del equipo, incluyendo los tiempos muertos asociados a cada etapa del proceso.

Asimismo, se consideran como unidades de análisis complementarias los formatos y registros utilizados actualmente, aun cuando estos no cuenten con un seguimiento estructurado, ya que forman parte del proceso real de atención a fallas.

5.5.6. Diagnóstico de la situación actual

Durante el desarrollo de las residencias profesionales en el área de mantenimiento de máquinas de inyección de la planta Motherson Tlaxcala, se identificó que no existe un proceso formal, documentado y estandarizado para la atención de fallas y la reparación de las máquinas de inyección. Las actividades de mantenimiento correctivo se realizan principalmente con base en la experiencia del personal técnico y en prácticas operativas no formalizadas, lo que genera variabilidad en la forma de atender fallas similares y dificulta el control del proceso.

La inexistencia de un procedimiento definido provoca que cada evento de falla sea atendido de manera distinta, sin una secuencia clara de acciones, sin criterios formales de priorización y sin mecanismos estructurados de seguimiento, lo que impacta directamente en la duración del tiempo muerto de los equipos.

Descripción del área de inyección mediante layout general

Como parte del diagnóstico de la situación actual, se consideró fundamental definir físicamente el área de inyección, ya que la disposición del espacio, la ubicación de las máquinas y la distribución de los recursos influyen directamente en el proceso de mantenimiento correctivo y en los tiempos de atención a fallas.

Para ello, se utilizó el layout general del área de inyección, el cual se muestra en las siguientes ilustraciones, el cual permite visualizar la ubicación de las máquinas de inyección, pasillos, áreas de acceso, zonas de circulación, puntos de servicio y áreas de apoyo. Este layout facilita la comprensión del contexto operativo en el que se desarrollan las actividades de mantenimiento y permite identificar posibles recorridos innecesarios, distancias largas y limitaciones físicas que contribuyen al incremento del tiempo muerto durante la reparación de los equipos.

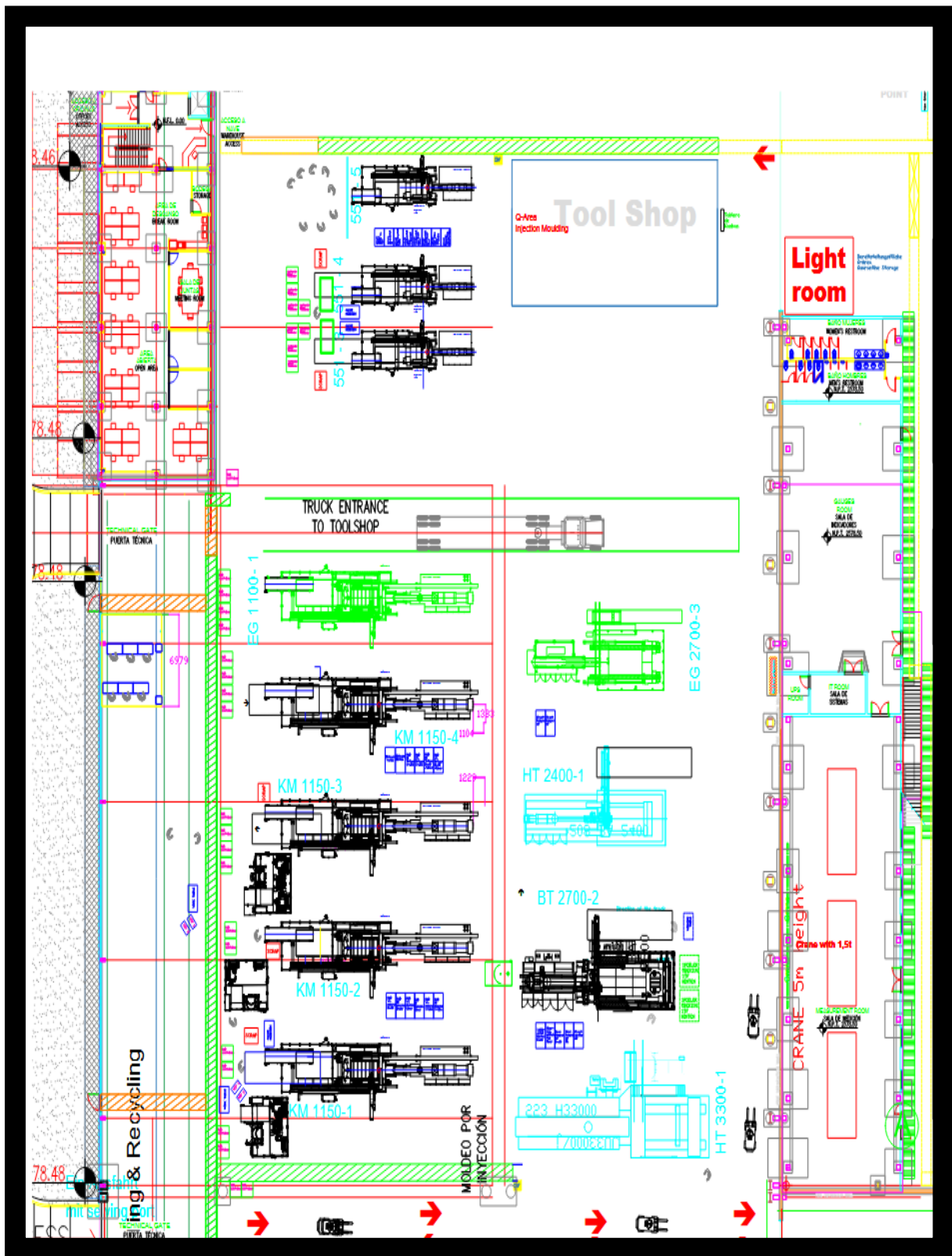
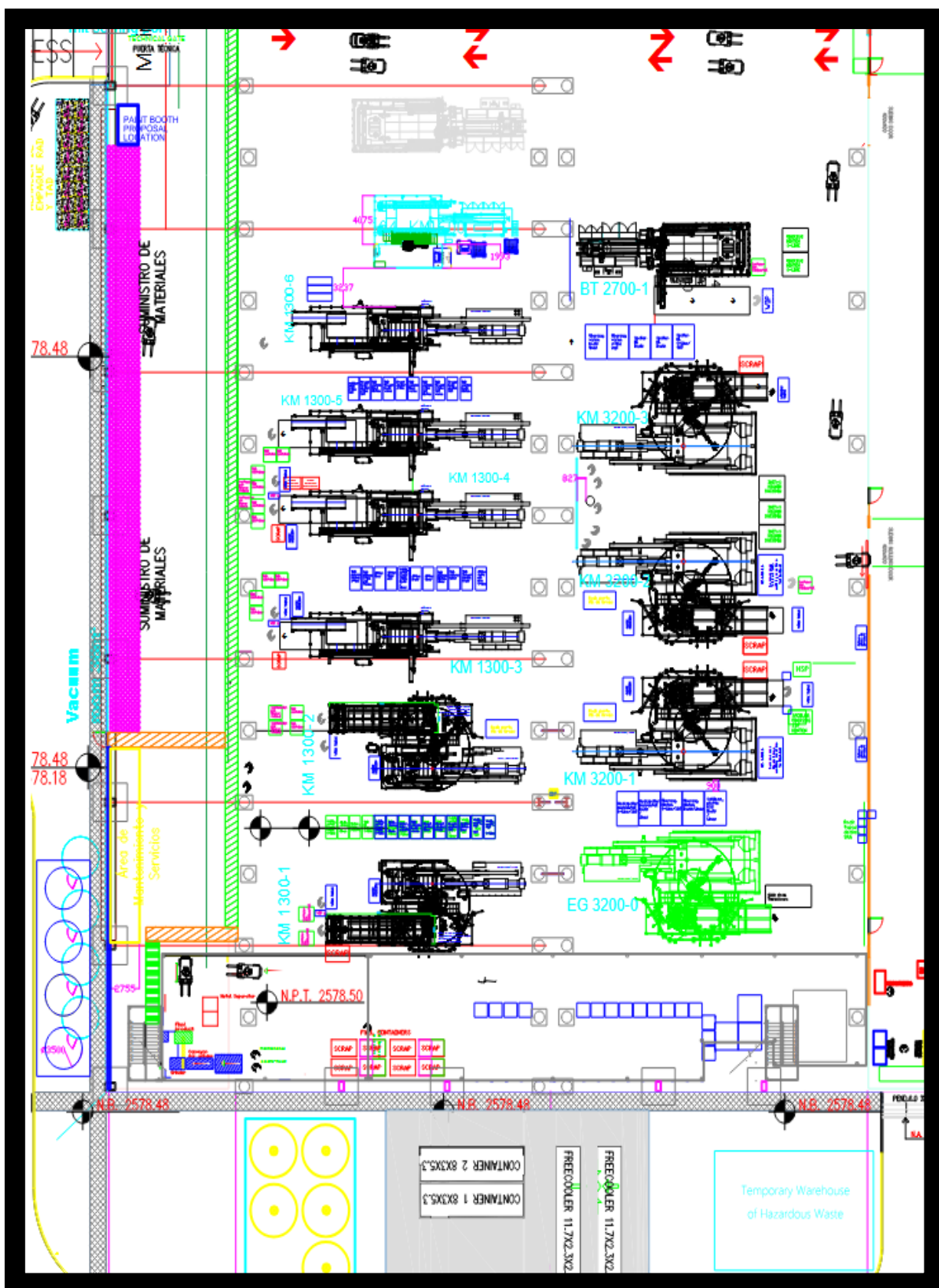


Ilustración 46. Lay Out Inyección parte 1.



Análisis del proceso actual de atención a fallas

A pesar de no contar con un proceso formal de mantenimiento correctivo, en la práctica se ejecuta un conjunto de actividades que conforman el proceso real de atención a fallas en las máquinas de inyección. Dicho proceso inicia con la detección de la falla por parte del personal de producción, los operadores o del propio técnico de mantenimiento y continúa con la intervención correctiva del equipo.

No obstante, este proceso presenta deficiencias importantes, tales como la ausencia de una secuencia definida de diagnóstico, la falta de criterios claros para la asignación de prioridades, la inexistencia de roles y responsabilidades claramente establecidos y la dependencia del conocimiento individual del técnico que atiende la falla. Estas deficiencias se ven influenciadas, además, por la disposición física del área, ya que los recorridos y accesos no se encuentran considerados dentro de un proceso estructurado.

Identificación de deficiencias operativas en el mantenimiento correctivo

Durante la observación directa del proceso de mantenimiento correctivo se detectaron diversas deficiencias que impactan directamente en la duración del tiempo muerto de las máquinas de inyección, entre las cuales destacan:

- Procesos de mantenimiento correctivo extensos y poco estructurados, sin un procedimiento claro de ejecución.
- Falta de seguimiento a las actividades realizadas, debido a que los formatos utilizados no cuentan con un control formal ni permiten dar trazabilidad a las acciones ejecutadas.
- Deficiencias en la comunicación entre producción y mantenimiento.
- Dependencia excesiva de la experiencia individual del técnico.
- Recorridos innecesarios dentro del área de inyección, influenciados por la distribución física del área y de las máquinas.
- Ausencia de registros que documenten las faltantes, dificultades y obstáculos presentes durante la atención a fallas.

Análisis de layouts individuales de las máquinas de inyección

Con el objetivo de profundizar en el diagnóstico del proceso de mantenimiento correctivo, se realizó el análisis de los layouts tipo plano de cada máquina de inyección, los cuales

permiten identificar la ubicación de componentes, accesos, paneles de control, sistemas auxiliares y zonas de intervención del técnico.

Estos layouts individuales resultan relevantes, ya que durante la atención a fallas se observó que el técnico debe desplazarse alrededor de la máquina para acceder a diferentes sistemas, lo que puede generar tiempos adicionales cuando no existe una secuencia clara de diagnóstico o cuando la información técnica no se encuentra disponible de manera inmediata.

La integración de los layouts de cada máquina permite comprender cómo la configuración física del equipo influye en los tiempos de diagnóstico y reparación, así como en la ejecución de las actividades de mantenimiento correctivo.

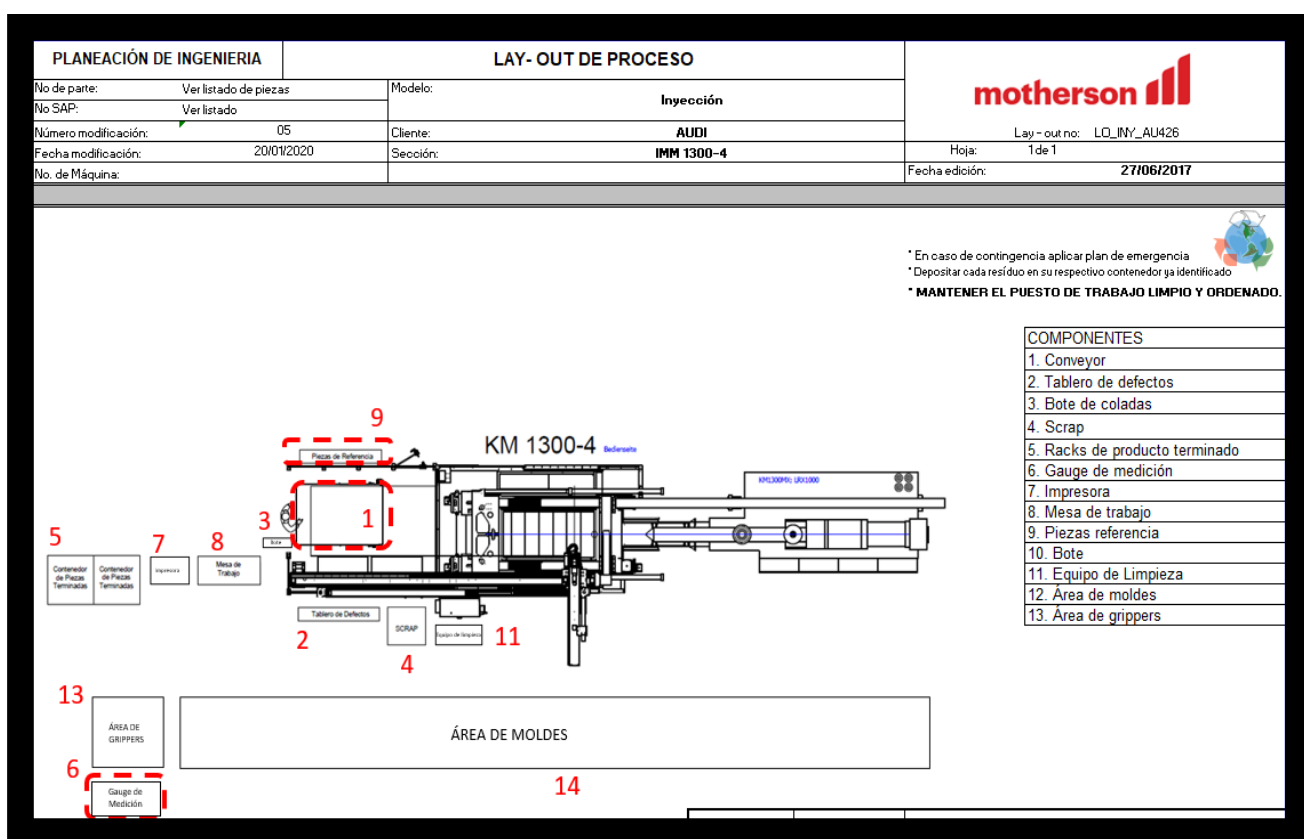


Ilustración 48. Máquina de Inyección IMM 1300-4

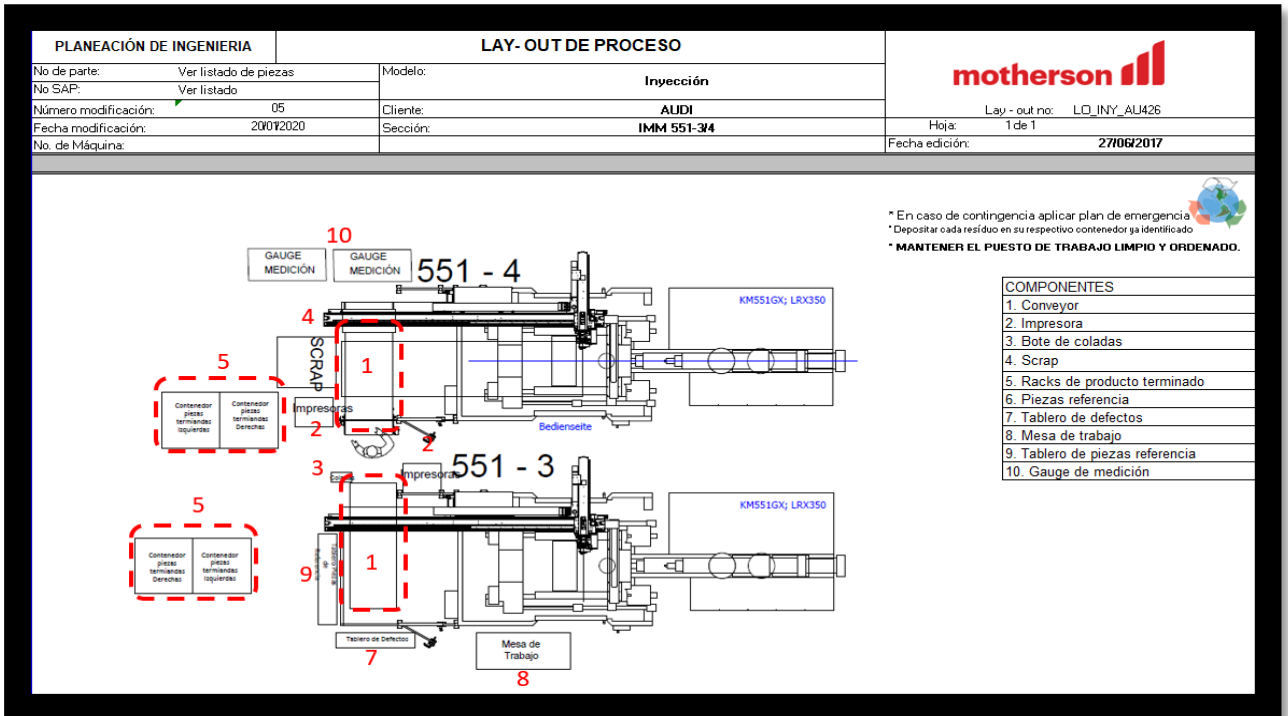


Ilustración 49. Máquina de Inyección IMM 551-3

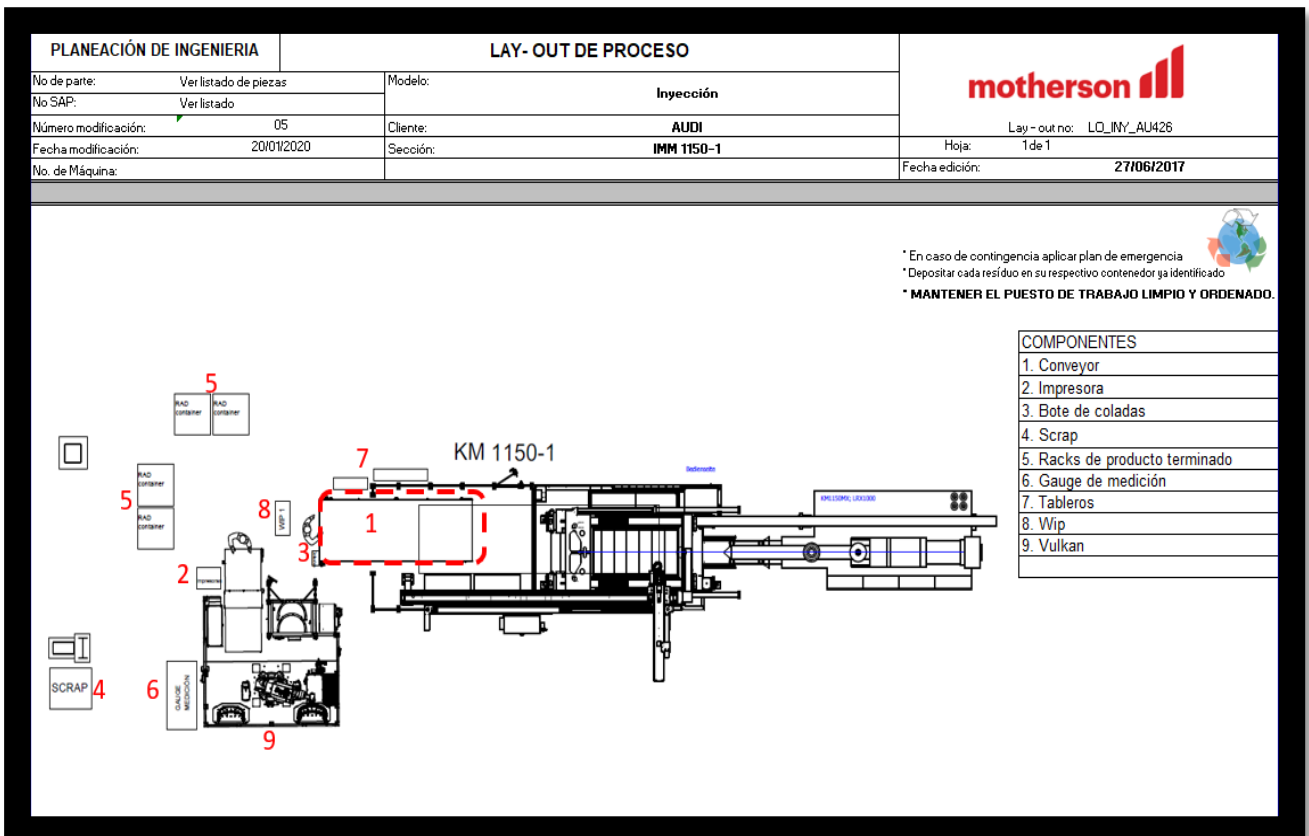


Ilustración 50. Máquina de Inyección IMM 1150-1

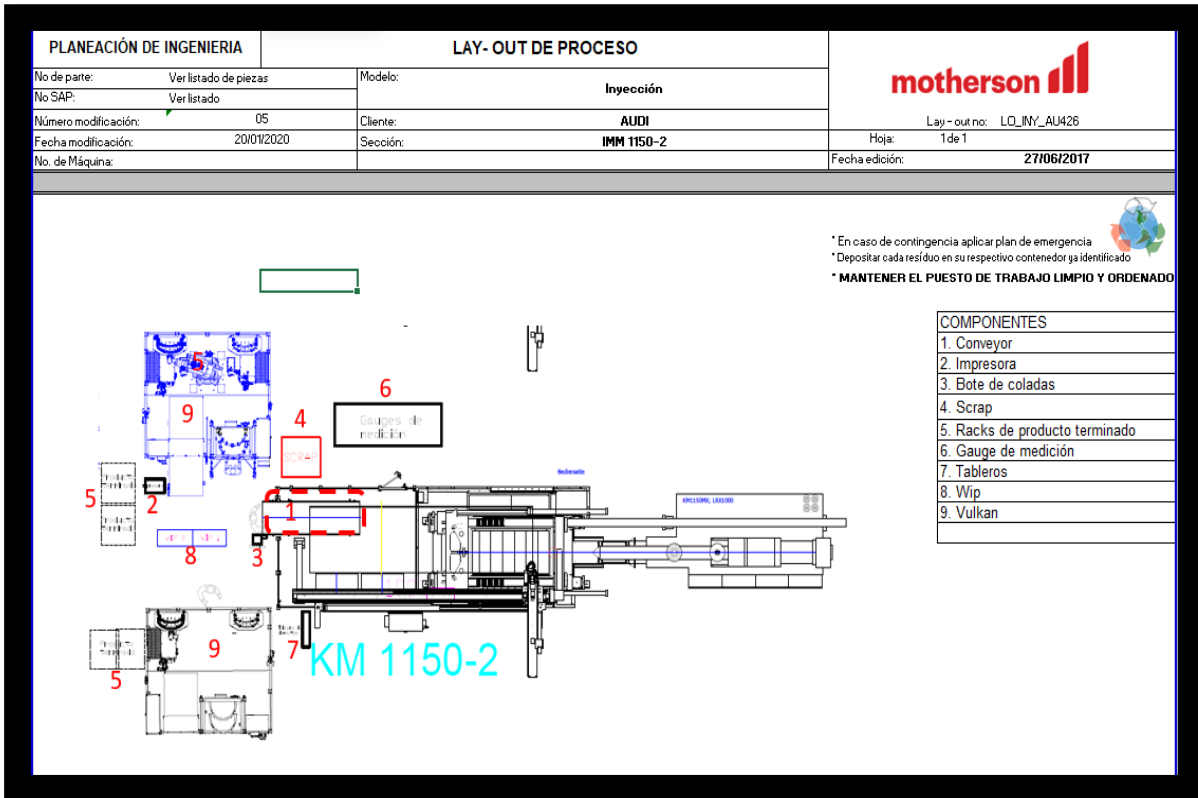


Ilustración 51. Máquina de Inyección IMM 1150-2

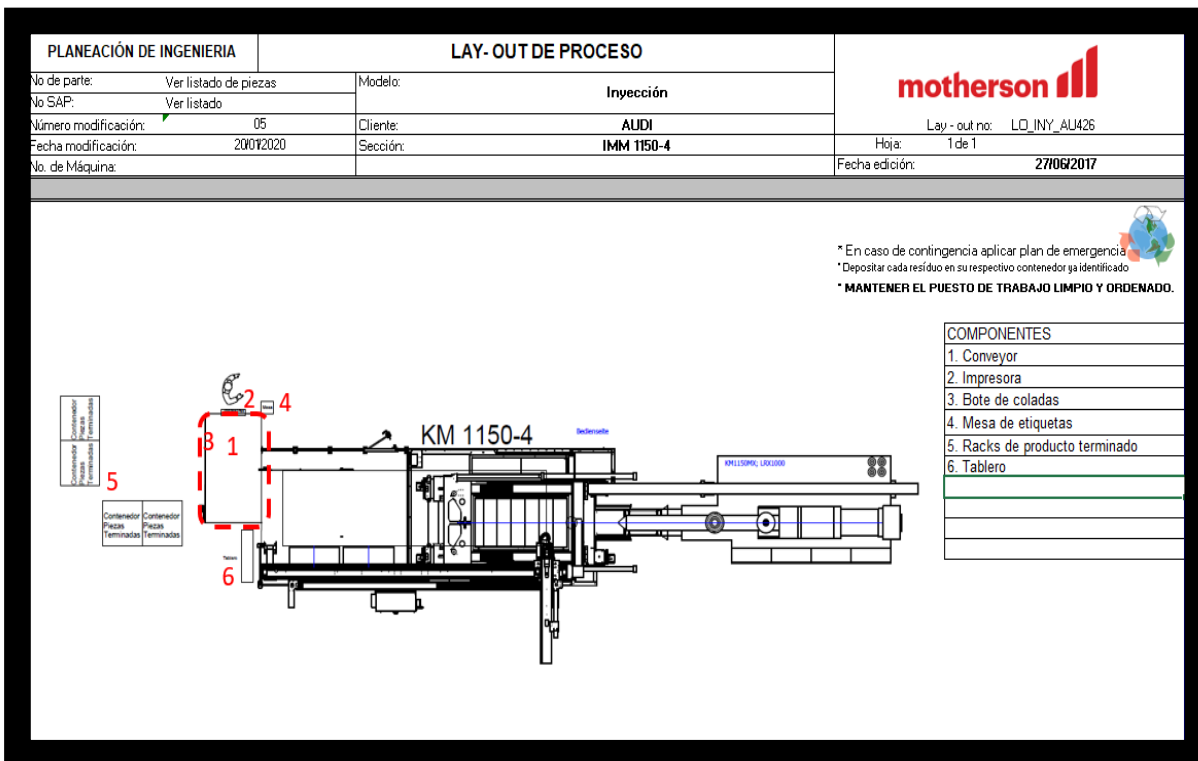


Ilustración 52. Máquina de Inyección IMM 1150-4

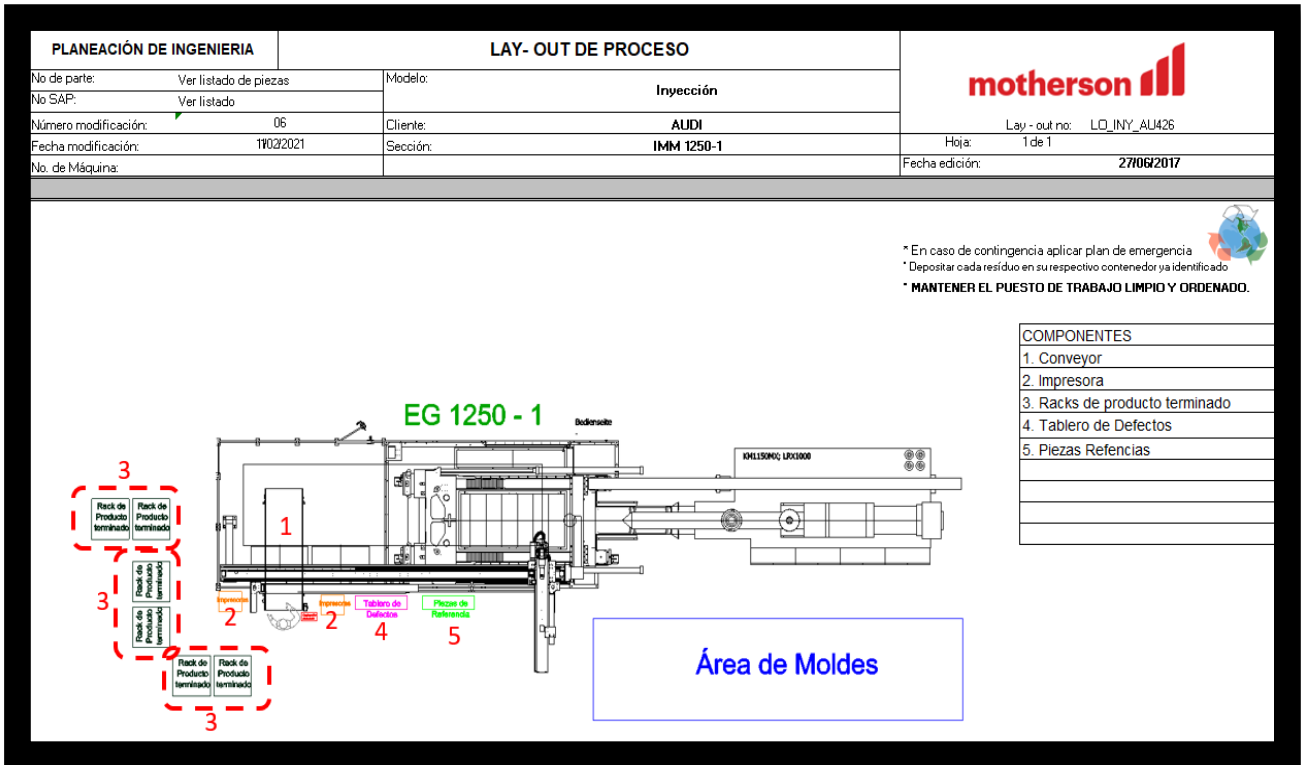


Ilustración 53. Máquina de Inyección IMM 1250-1

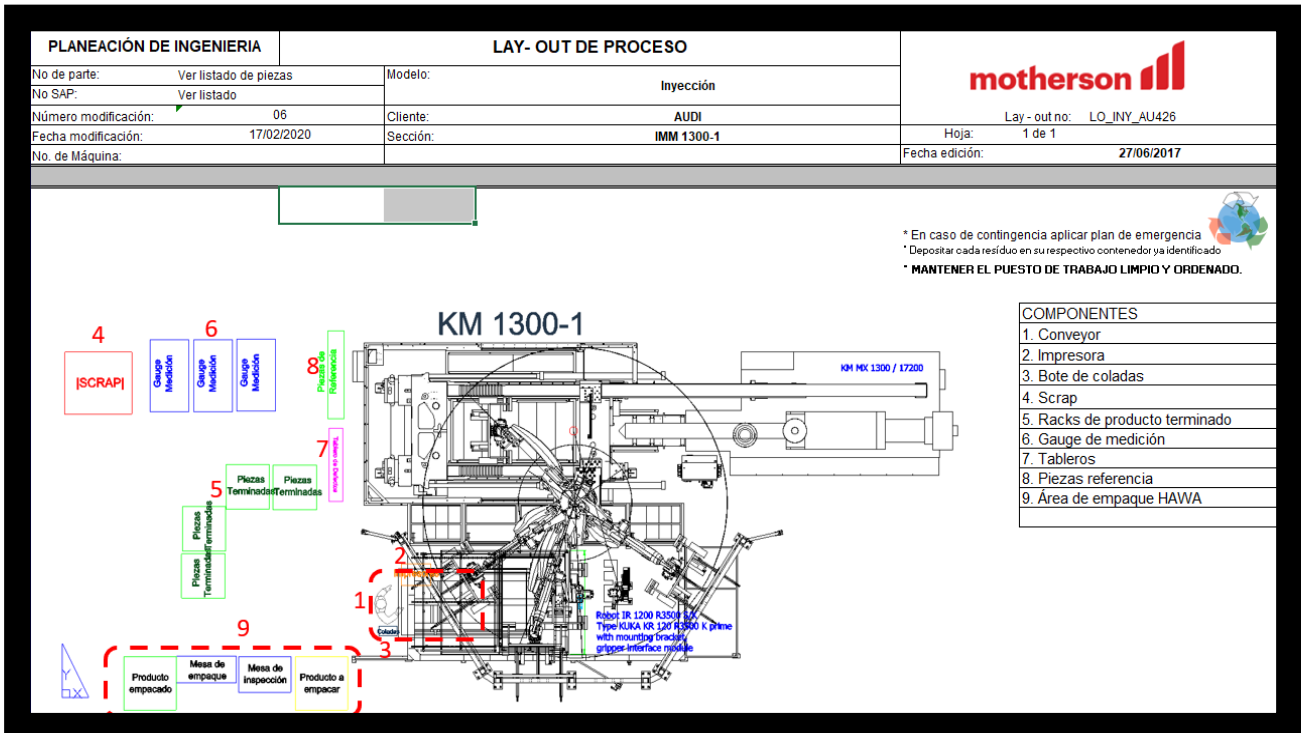


Ilustración 54. Máquina de Inyección IMM 1300-1

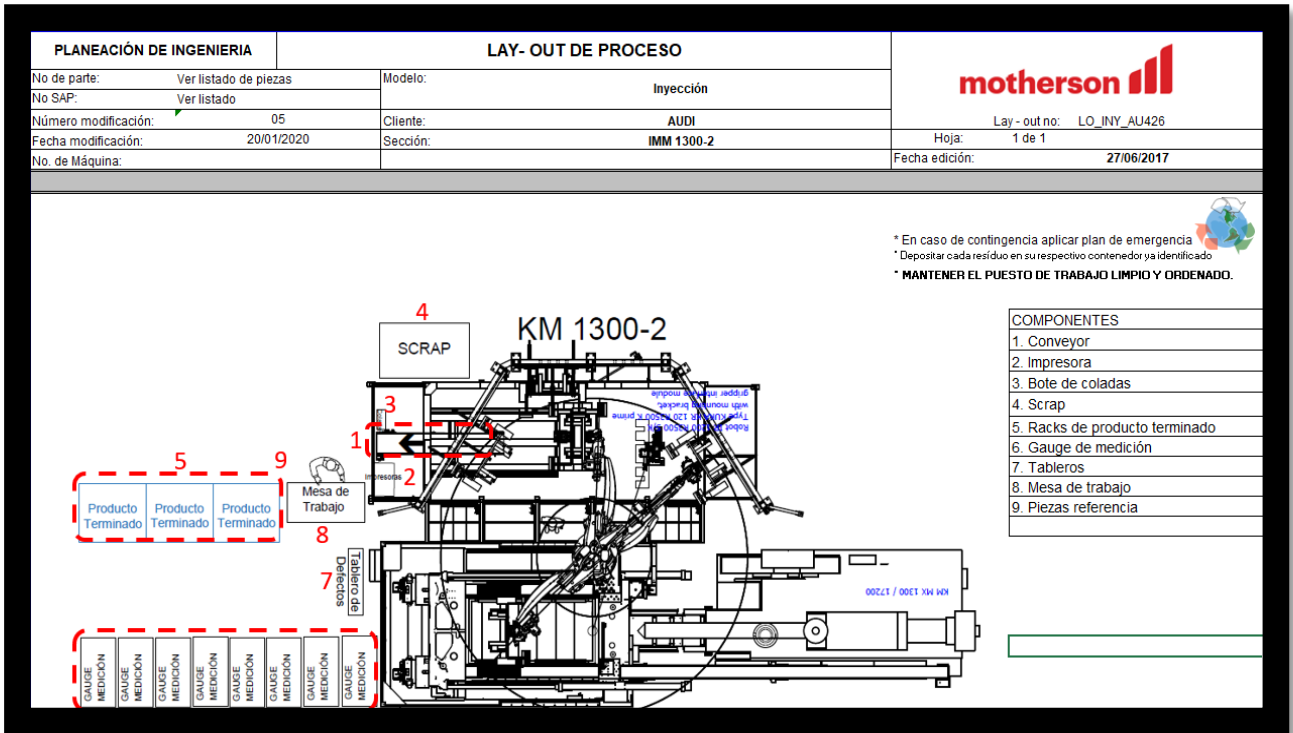


Ilustración 55. Máquina de Inyección IMM 1300-2

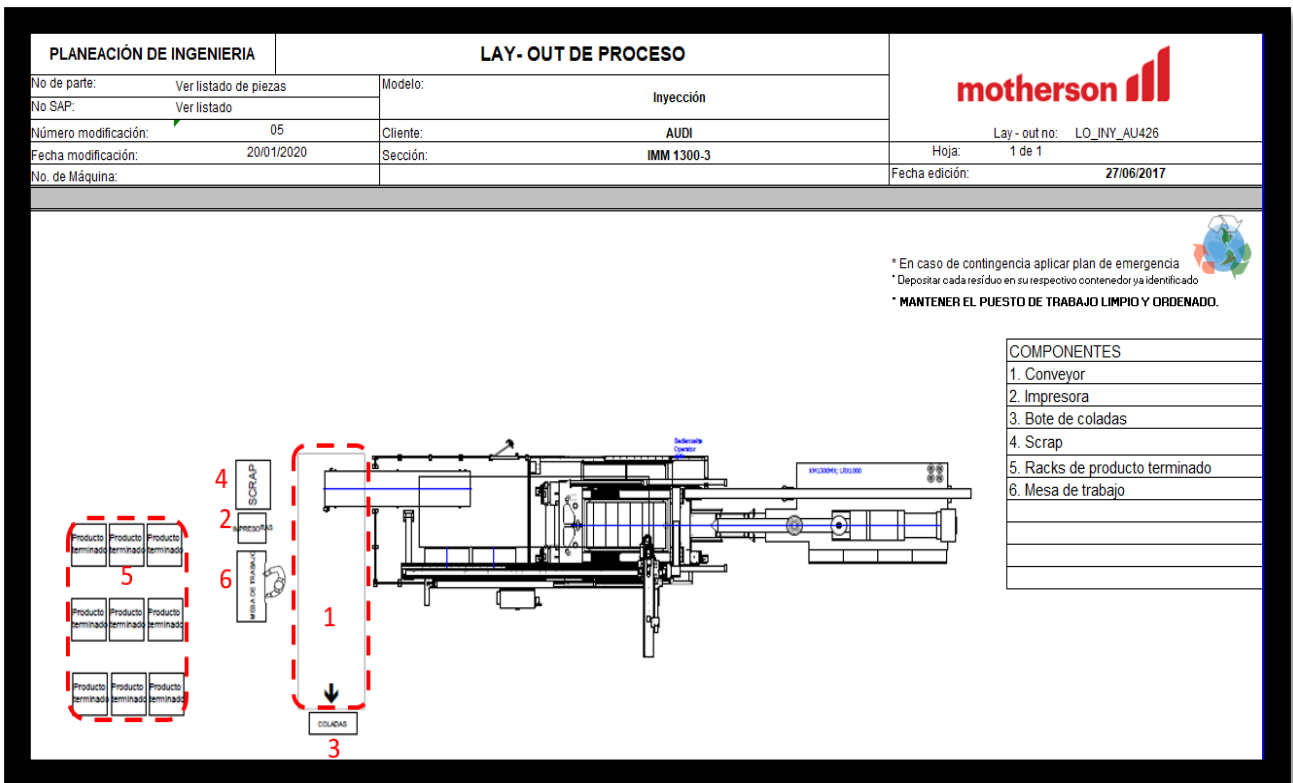


Ilustración 56. Máquina de Inyección IMM 1300-3

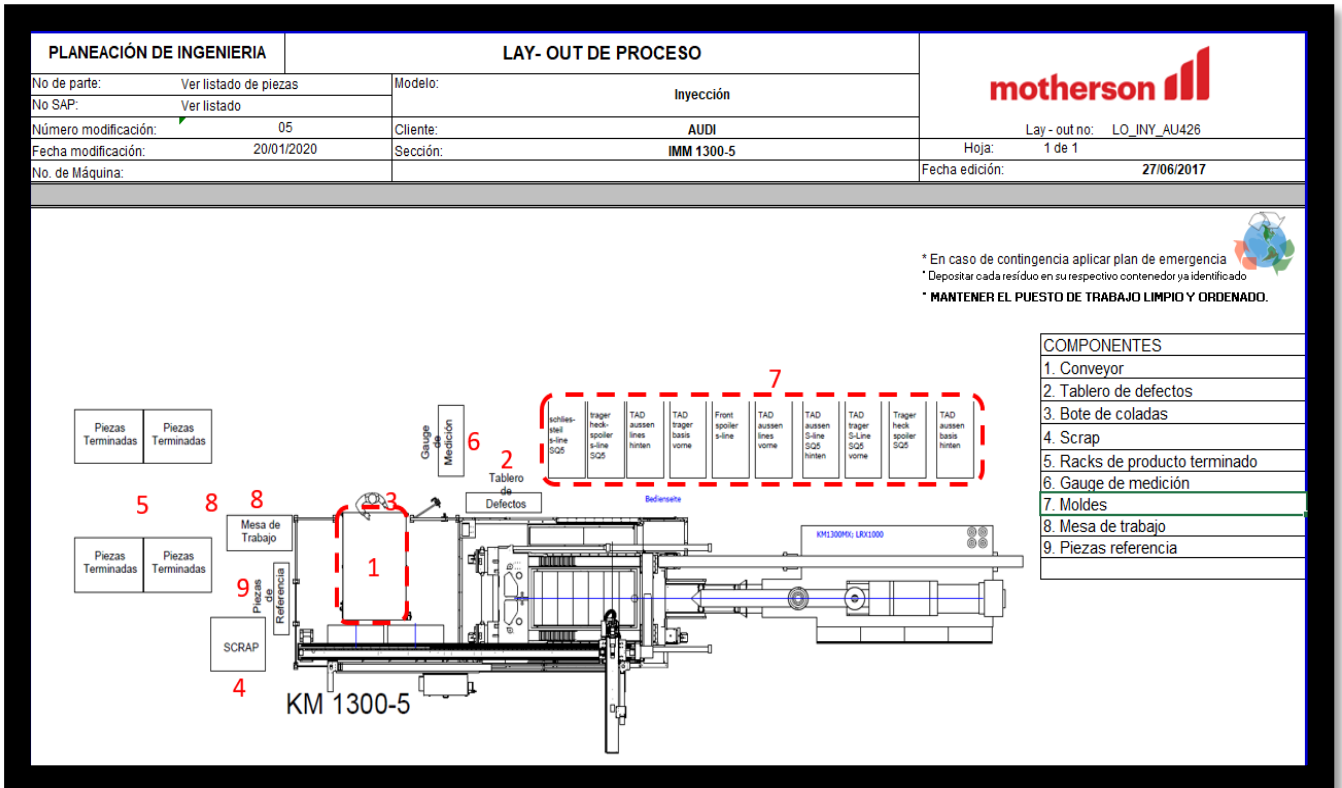


Ilustración 57. Máquina de Inyección IMM 1300-5

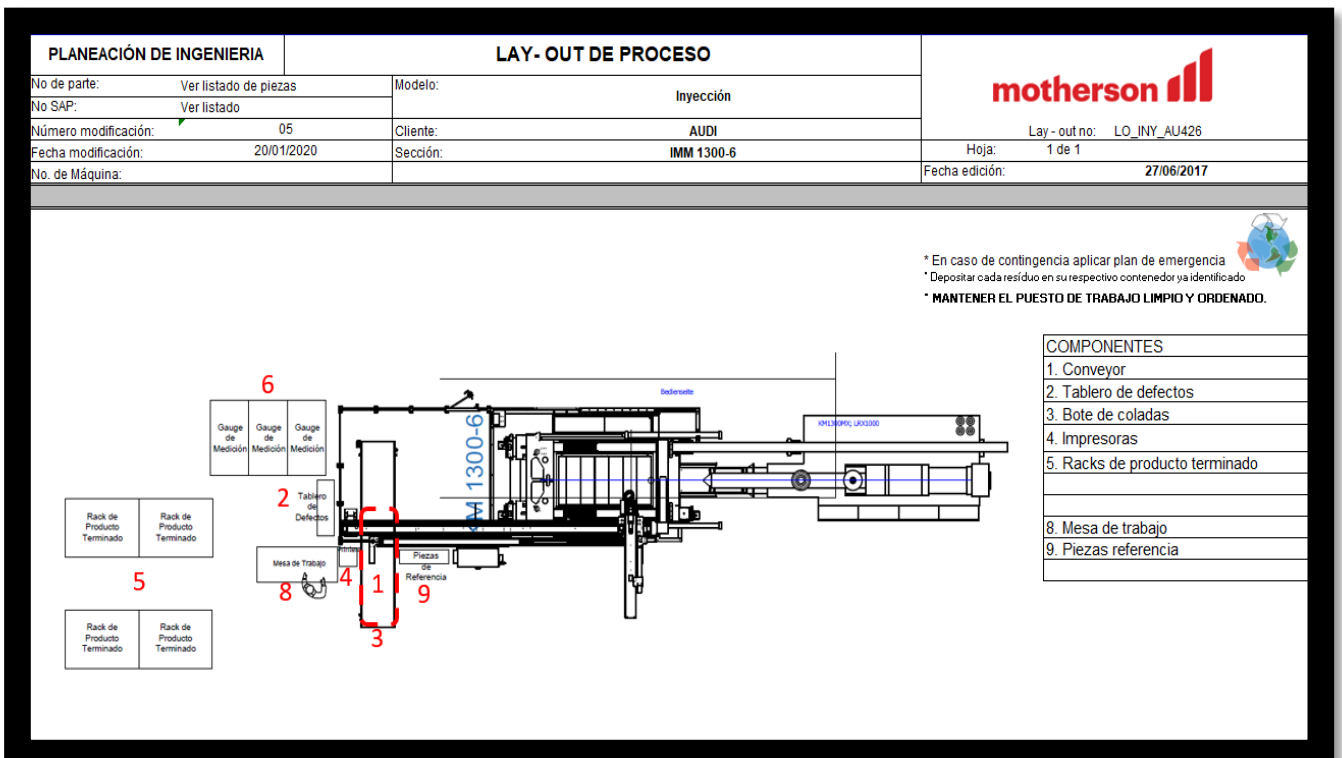


Ilustración 58. Máquina de Inyección IMM 1300-6

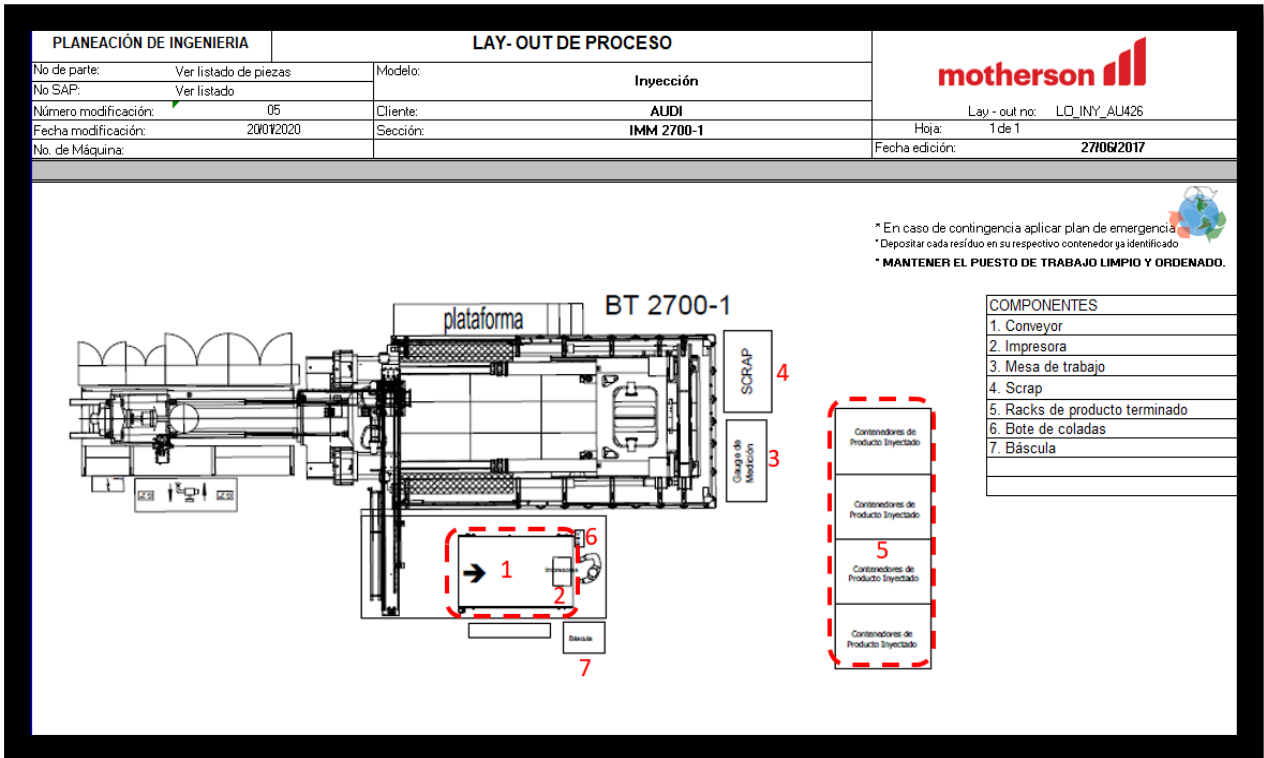


Ilustración 59. Máquina de Inyección IMM 2700-1

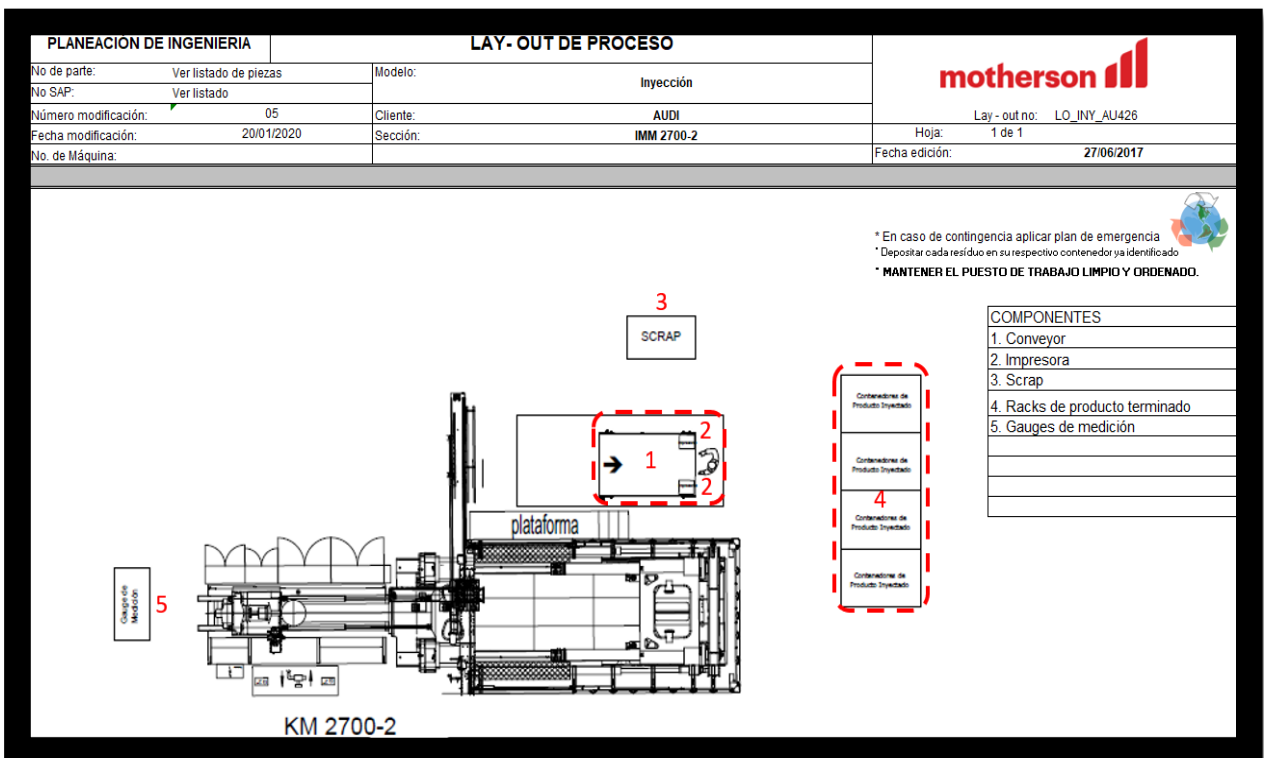


Ilustración 60. Máquina de Inyección 2700-2

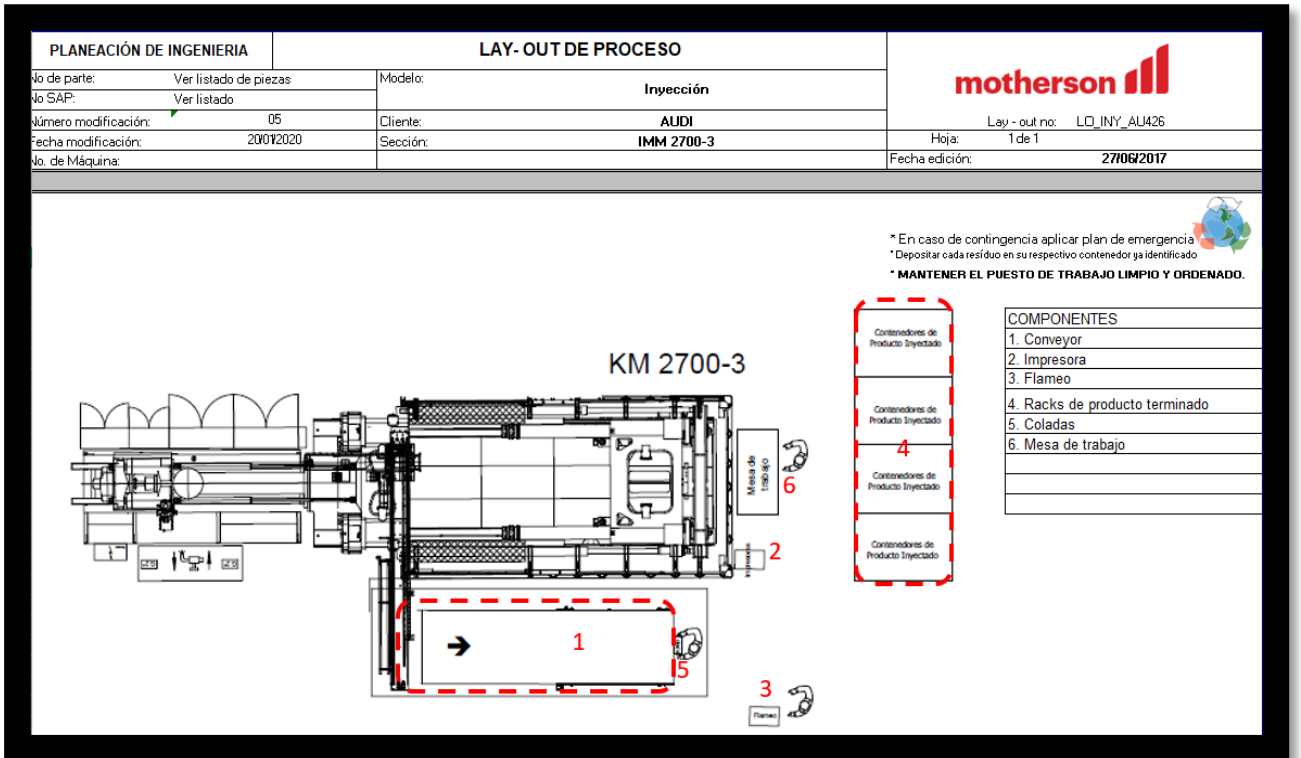


Ilustración 61. Máquina de Inyección 2700-3

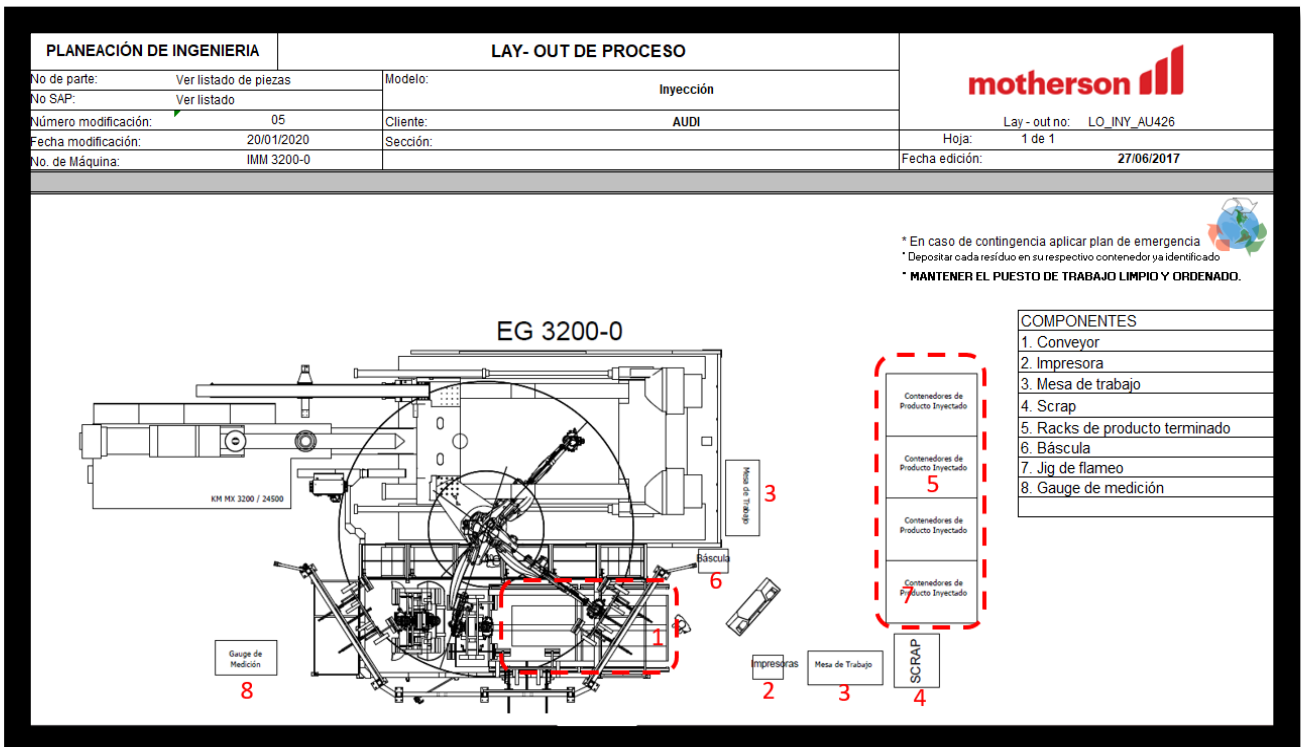


Ilustración 62. Máquina de Inyección EG 3200-00

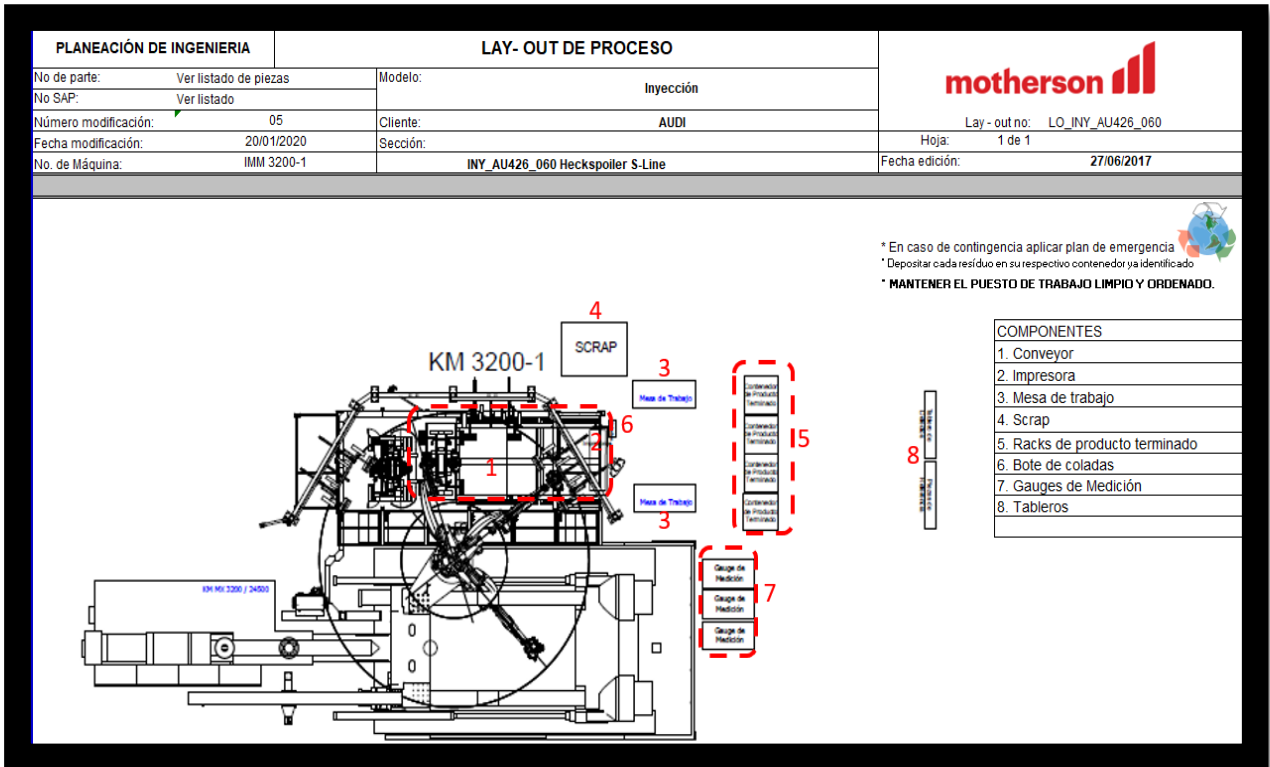


Ilustración 63. Máquina de Inyección IMM 3200-1

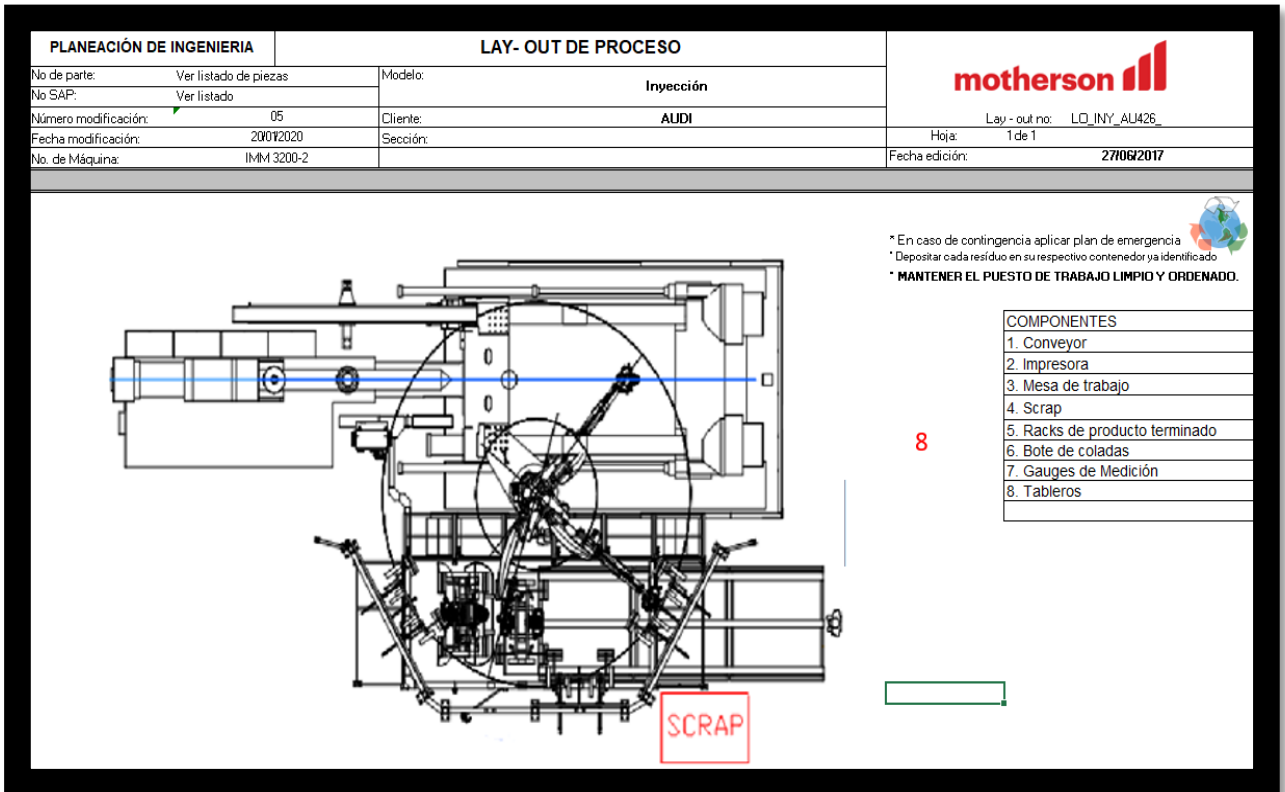


Ilustración 64. Máquina de Inyección IMM 3200-2

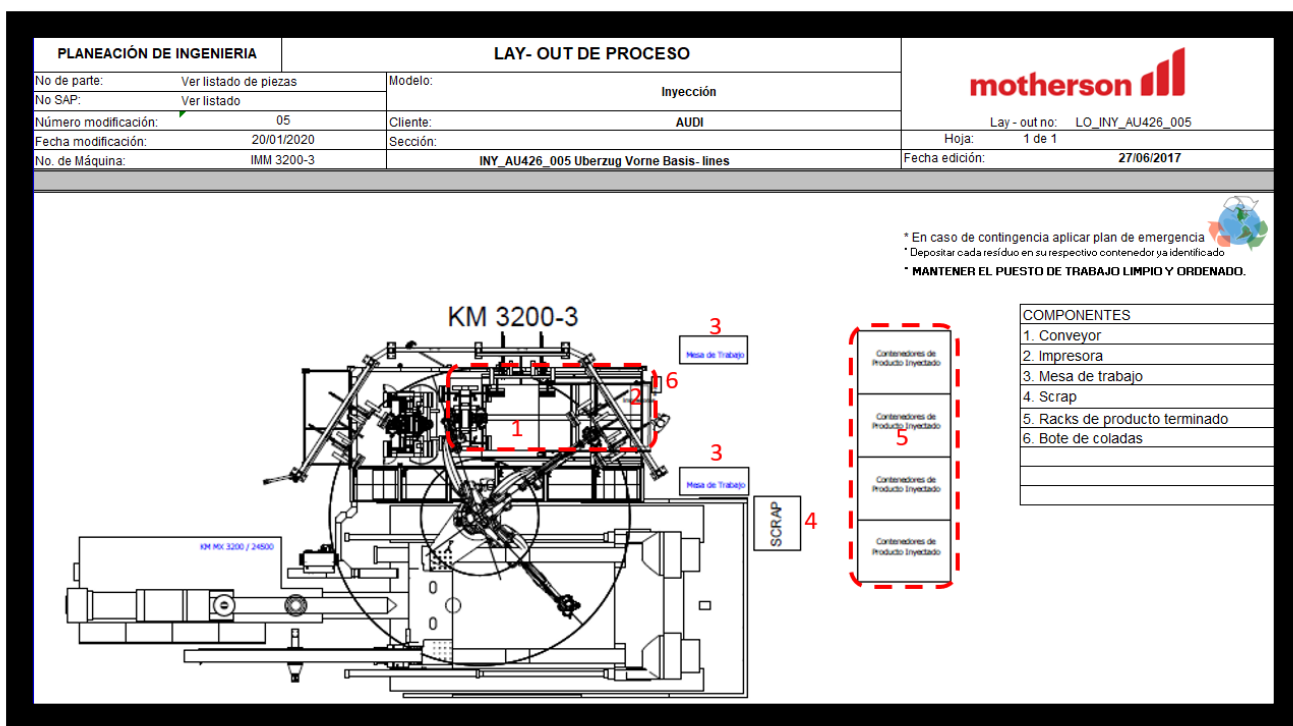


Ilustración 65. Máquina de Inyección IMM 3200.3

Integración del diagnóstico operativo

La integración del análisis del proceso actual, junto con la descripción del área de inyección y los layouts individuales de las máquinas, permite establecer un diagnóstico más completo de la situación actual. Este enfoque facilita la identificación de cómo factores operativos, organizacionales y físicos contribuyen a la generación de tiempos muertos durante el mantenimiento correctivo.

El diagnóstico obtenido a partir de esta información constituye la base para la aplicación de herramientas de análisis de causas y para el diseño de un nuevo proceso estructurado de atención a fallas, orientado a la reducción del tiempo muerto y a la mejora del desempeño del área de mantenimiento.

5.5.7 Levantamiento de información

El levantamiento de información constituye una etapa fundamental del marco metodológico, ya que permite recopilar los datos necesarios para describir, analizar y comprender el proceso real de mantenimiento correctivo aplicado a las máquinas de inyección. Dado que no existe un procedimiento formal documentado, la información se obtuvo directamente del entorno

operativo mediante diferentes técnicas, con el fin de reflejar de manera fiel la forma en que actualmente se atienden las fallas en la planta Motherson Tlaxcala.

Observación directa en campo y participación activa en el proceso de mantenimiento

La observación directa en campo se llevó a cabo mediante la participación continua y activa del residente en las actividades diarias del área de mantenimiento de inyección, trabajando de manera directa con los técnicos responsables de la atención a fallas en las máquinas de inyección. Esta metodología permitió no solo observar el proceso desde una perspectiva externa, sino vivir de primera mano el entorno operativo real en el que se ejecuta el mantenimiento correctivo.

Durante esta etapa, el residente participó de forma constante en el acompañamiento a los técnicos de mantenimiento, lo que permitió identificar cómo se atacan las fallas desde su detección hasta la reparación del equipo, así como analizar los traslados dentro del área, los métodos de comunicación utilizados, las dificultades operativas, el nivel de experiencia del personal, y las herramientas y recursos empleados durante la reparación de una máquina de inyección.

La participación directa facilitó la comprensión de aspectos clave del proceso, tales como:

- La forma en que los técnicos interpretan y diagnostican las fallas.
- Los recorridos realizados dentro del área de inyección para acceder a herramientas, refacciones o información técnica.
- Los medios de comunicación utilizados entre producción y mantenimiento.
- Las dificultades técnicas y operativas enfrentadas durante la reparación.
- El uso de herramientas manuales, equipos de medición y dispositivos de apoyo para la atención de fallas.
- La coordinación entre técnicos durante reparaciones complejas.

Asimismo, esta observación permitió identificar que muchas de las actividades realizadas dependen de la experiencia individual del técnico, lo que genera variabilidad en la forma de atender fallas similares y en los tiempos de reparación. Esta información resulta fundamental para el diagnóstico del proceso actual y para la identificación de áreas de oportunidad relacionadas con la estandarización y mejora del mantenimiento correctivo.

Como parte del levantamiento de información, se documentaron visualmente diversas actividades de mantenimiento correctivo mediante registros fotográficos, los cuales muestran

al personal técnico realizando reparaciones en máquinas de inyección. Estas imágenes permiten contextualizar el entorno industrial real en el que se desarrolla el proyecto y facilitan la comprensión del trabajo diario del área de mantenimiento.

Acompañamiento a técnicos de mantenimiento

Como parte del levantamiento de información, se realizó el acompañamiento directo a los técnicos del área de inyección durante la atención de fallas. Esta actividad permitió analizar cómo la experiencia individual influye en la forma de diagnosticar y reparar las máquinas, así como identificar variaciones en el tiempo de atención entre técnicos ante fallas similares.

El acompañamiento facilitó la identificación de:

- Diferencias en métodos de diagnóstico.
- Dependencia del conocimiento individual.
- Necesidad de apoyo adicional en fallas complejas.
- Recorridos repetitivos dentro del área y alrededor de la máquina.

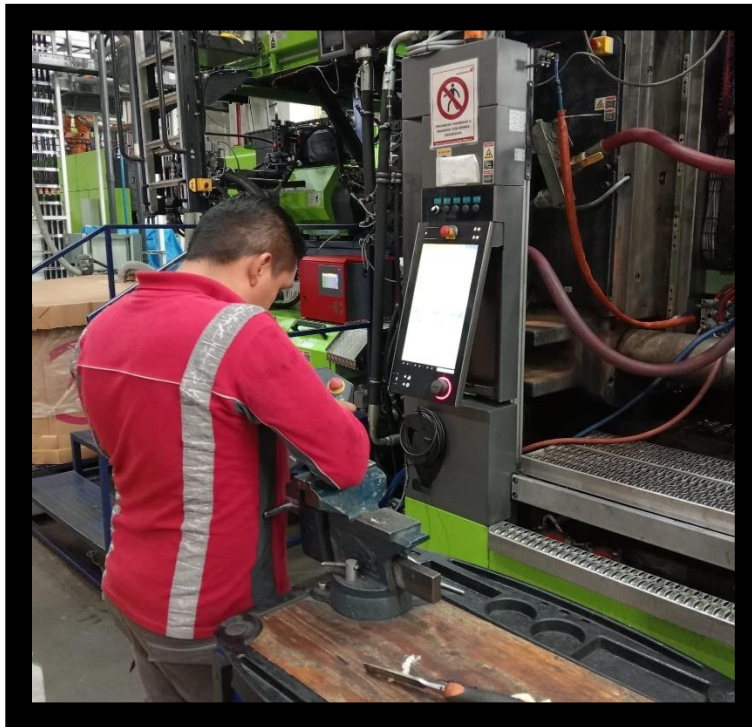


Ilustración 66. Técnico de inyección monitoreando falla en maquina ENGEL 1300-1

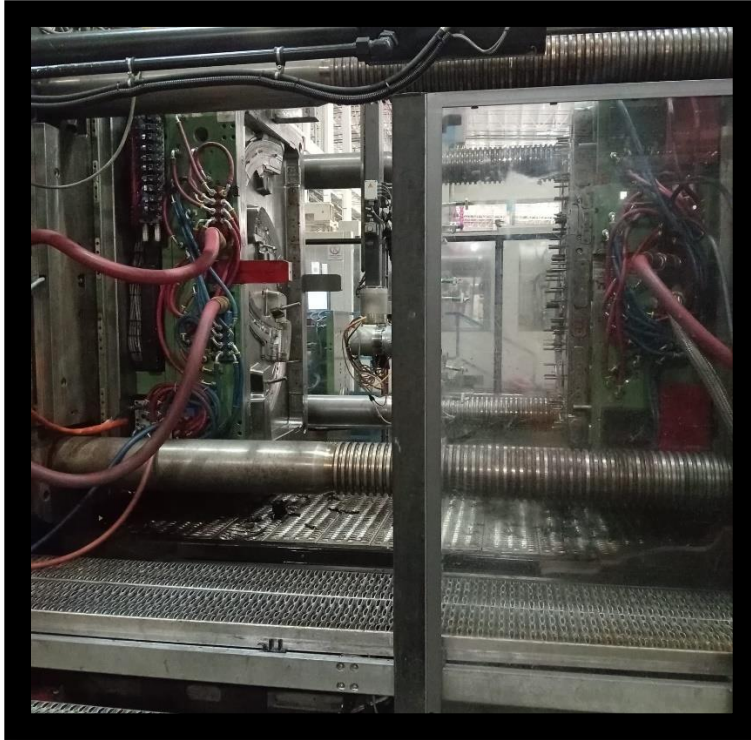


Ilustración 67. Falla común "falla de cierre de molde en maquina ENGEL"

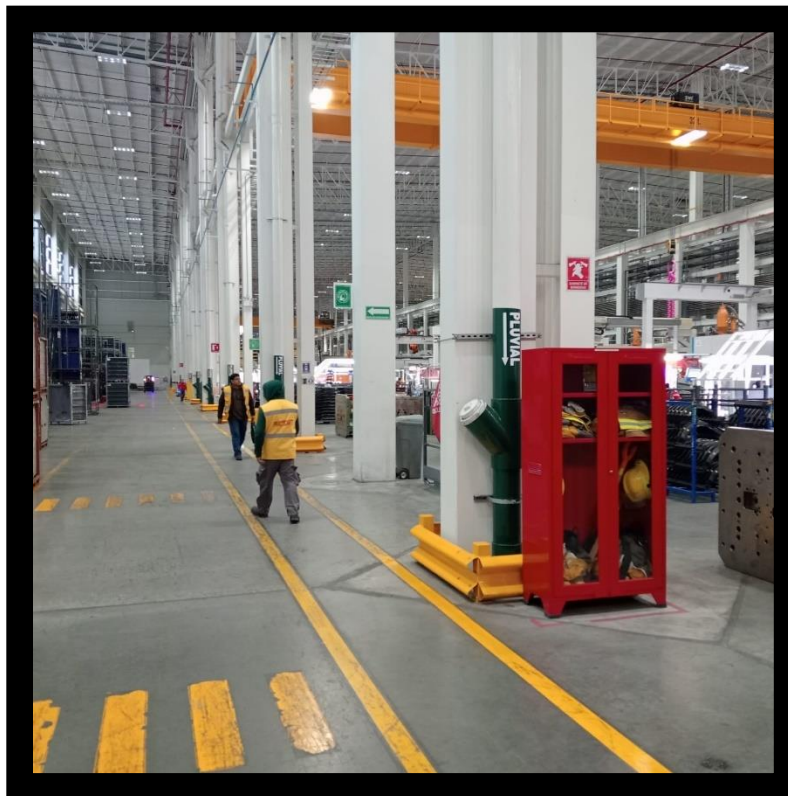


Ilustración 68. Recorrido de técnicos por pasillo principal para atender falla de máquinas.



Ilustración 69. Apoyo a técnicos en resolución de fallas en maquinaria.

Revisión de formatos y registros existentes

Se llevó a cabo la revisión de los formatos actualmente utilizados para el registro de actividades de mantenimiento correctivo. Aunque dichos formatos existen, se identificó que no cuentan con un seguimiento estructurado, ni permiten la trazabilidad completa de las fallas atendidas.

El análisis de estos documentos permitió identificar:

- Información que se registra actualmente.
- Información faltante para el control del proceso.
- Ausencia de campos relacionados con tiempos parciales, causas raíz y acciones correctivas.
- Falta de estandarización en el llenado de los formatos.
- Esta revisión aportó elementos clave para la identificación de áreas de oportunidad en el control y seguimiento del mantenimiento correctivo.

Como ejemplo en la siguiente ilustración se puede observar que hay anomalías en las anotaciones del técnico de inyección, hay rubros vacíos en la hoja llenada, no hay coherencia en la acción realizada y no cuadra el tiempo implementado en la realización de la operación.

Reservation





Ticket de trabajo

Fecha : 08/10/2025 Orden : 8500004821 Tipo de orden : ZPM5 Descripción : nivel de aceite bajo Maintenance plan : Fecha de inicio : 08-oct-25	Planta PM : 1053 Ubicación Funcional : 1053-010-1100-1101-3300 Equipo : 100000190 Descripción del equipo : IMM MX 3300 - 01 HAITIAN Centro de trabajo : PM_ELECT Fecha final : 09-oct-25
--	--

Operación 0010

Centro de trabajo : PM_ELECT

IO NIO

Duration : 0 MIN ☐ ☐

Operación steps

nivel de aceite bajo

Operación notes

Se recuperan 200 lt de aceite

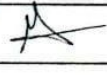
Responsible Pers. Name Print	Name (Signature)	Pers-Nr.	Initial and End date	Initial Time	End Time	Total hrs without Pause in Decimal
Miguel		6566	08/10/25	16:00	16:20	20'
Supervisor						

Ilustración 70. Ejemplo de hoja de mantenimiento correctivo en reparación de máquina de inyección.

Análisis de layouts del área y de máquinas de inyección

Como parte del levantamiento de información, se integraron los layouts del área de inyección y los layouts tipo plano de cada máquina de inyección, los cuales permitieron analizar la disposición física del área y la configuración de los equipos.

El análisis de estos layouts facilitó:

- La identificación de distancias y recorridos realizados por los técnicos.
- La localización de zonas críticas de intervención.
- La relación entre la disposición física y los tiempos muertos observados.
- La comprensión del contexto espacial en el que se ejecuta el mantenimiento correctivo.

Estos documentos se utilizaron como insumos para el diagnóstico del proceso y para el análisis posterior de los factores que influyen en el incremento del tiempo muerto.

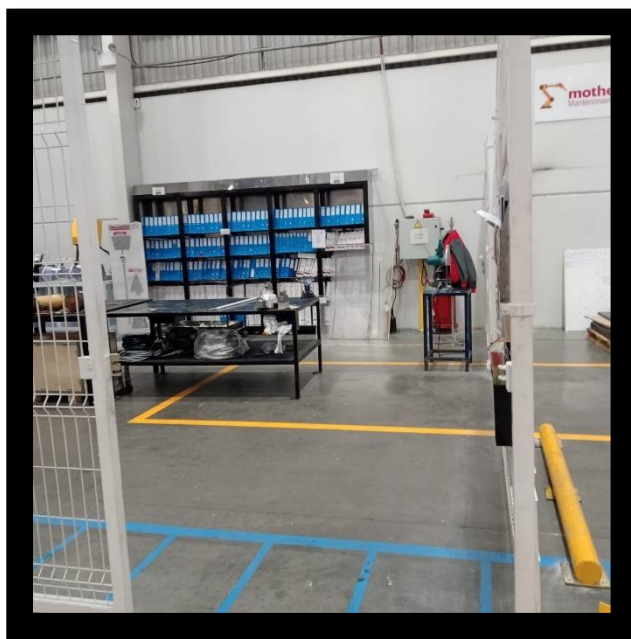


Ilustración 71. Área de inyección donde se localizan técnicos y herramienta para reparaciones.

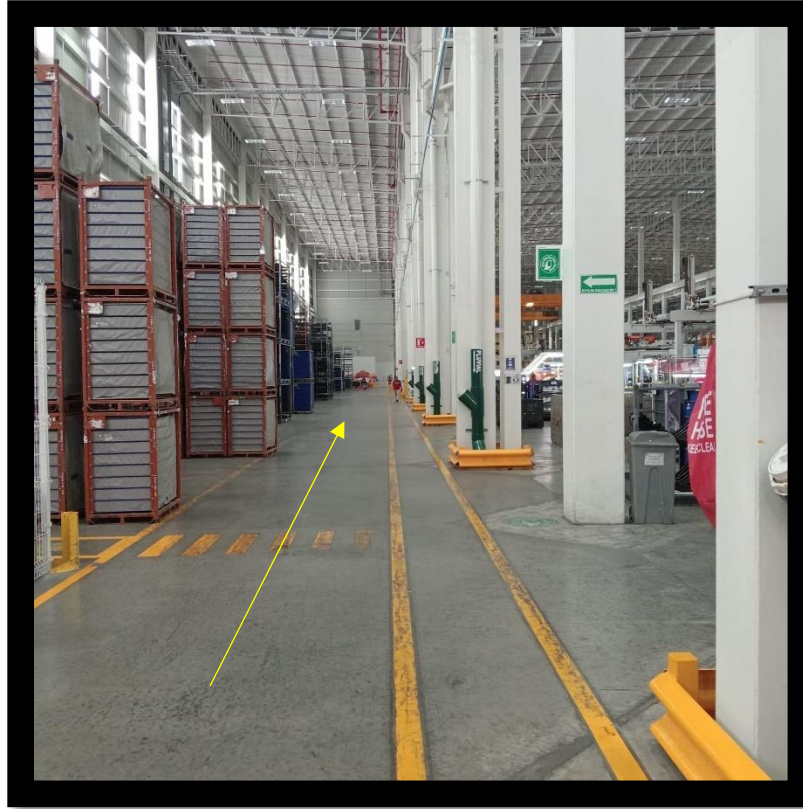


Ilustración 72. Ejemplo de distancia de recorrido de técnicos.

Colaboración con asesor interno y asesor externo

El levantamiento de información se realizó en coordinación con el asesor interno, quien funge como coordinador de mantenimiento del área de inyección, y con el asesor externo, quienes aportaron conocimiento técnico y orientación metodológica durante el desarrollo del proyecto.

La participación de ambos asesores permitió:

- Validar la información observada en campo.
- Contrastar las prácticas actuales con métodos recomendados.
- Identificar deficiencias del proceso desde una perspectiva técnica y organizacional.
- Asegurar que la información recopilada fuera coherente con la realidad operativa del área.

Integración de la información recopilada

La información obtenida mediante las diferentes técnicas de levantamiento fue integrada y organizada para su análisis posterior. Esta integración permitió establecer una visión

completa del proceso actual de mantenimiento correctivo, considerando aspectos operativos, organizacionales y físicos.

- La información recopilada en esta etapa constituye la base para:
- El análisis del proceso actual (AS-IS).
- La identificación de causas del tiempo muerto.
- La aplicación de herramientas de análisis.
- El diseño del nuevo proceso estructurado de atención a fallas.

5.5.8 Análisis del proceso actual de atención a fallas (AS-IS)

Mapeo del proceso actual de mantenimiento correctivo (AS-IS)

Con base en la información recopilada durante el levantamiento en campo —observación directa, participación activa con los técnicos, revisión de formatos y análisis de layouts— se realizó el mapeo del proceso actual de atención a fallas, el cual representa la forma real en que se ejecuta el mantenimiento correctivo en las máquinas de inyección.

El mapeo AS-IS permite visualizar de manera secuencial las actividades que se llevan a cabo desde la detección de la falla hasta la liberación del equipo, evidenciando la ausencia de un procedimiento formal, la variabilidad en la ejecución de las actividades y la falta de puntos de control y seguimiento.

De manera general, el proceso actual se compone de las siguientes etapas:

1. Detección de la falla por producción o mantenimiento.
2. Comunicación informal de la falla al área de mantenimiento.
3. Asignación del técnico disponible.
4. Diagnóstico empírico de la falla.
5. Búsqueda de información, herramientas o refacciones.
6. Reparación del equipo.
7. Pruebas de funcionamiento.
8. Liberación de la máquina.

Sin embargo, estas etapas no se encuentran estandarizadas, ni siguen una secuencia fija, además, que las etapas también generan cambios repentinos e incluso se involucran más personas, lo que provoca que el proceso varíe en cada evento de falla.

Identificación de tiempos muertos dentro del proceso AS-IS

Durante el análisis del proceso actual se identificaron diversos puntos donde se generan tiempos muertos, los cuales incrementan significativamente la duración total del paro de las máquinas de inyección. Estos tiempos muertos no se concentran únicamente en la reparación técnica, sino en actividades previas y posteriores a esta.

Entre los principales momentos donde se identifican tiempos muertos se encuentran:

- Retrasos en la notificación de la falla.
- Esperas por asignación de técnico.
- Tiempos prolongados de diagnóstico.
- Traslados innecesarios dentro del área de inyección.
- Esperas por herramientas, refacciones o apoyo adicional.
- Falta de información técnica disponible en sitio.
- Repetición de pruebas o ajustes por diagnóstico incompleto.

La identificación de estos tiempos permitió confirmar que el problema del tiempo muerto está relacionado con la gestión del proceso, más que con la ejecución técnica aislada de la reparación.

Análisis de cuellos de botella del proceso

A partir del mapeo AS-IS y de la observación directa, se identificaron **cuellos de botella** que limitan el flujo eficiente del proceso de mantenimiento correctivo. Estos cuellos de botella se presentan principalmente en etapas donde no existen criterios claros de decisión ni recursos disponibles de forma inmediata.

Los principales cuellos de botella detectados son:

- Falta de un canal formal de comunicación entre producción y mantenimiento.
- Diagnóstico dependiente de la experiencia individual del técnico.
- Acceso limitado o tardío a refacciones críticas.
- Necesidad de esperar apoyo adicional en fallas complejas.
- Falta de seguimiento documentado de las actividades realizadas.

Estos cuellos de botella generan acumulación de actividades, retrasos en la toma de decisiones y prolongación del tiempo muerto de los equipos.

Análisis de actividades sin valor agregado

El análisis del proceso AS-IS permitió identificar diversas actividades que no agregan valor al proceso de mantenimiento correctivo, pero que consumen tiempo y recursos. Entre estas actividades se encuentran:

- Recorridos repetitivos dentro del área para búsqueda de herramientas o información.
- Esperas innecesarias por falta de comunicación clara.
- Repetición de diagnósticos ante ausencia de registros históricos.
- Llenado incompleto o inconsistente de formatos sin seguimiento posterior.

La identificación de estas actividades resulta fundamental para el diseño del nuevo proceso, ya que permite enfocar las propuestas de mejora en la eliminación o reducción de desperdicios, contribuyendo directamente a la disminución del tiempo muerto.

Representación gráfica del proceso AS-IS

Como parte del análisis del proceso actual, se recomienda representar gráficamente el flujo AS-IS mediante un diagrama de flujo o diagrama de proceso, el cual muestre de manera visual las etapas, decisiones, tiempos muertos y puntos críticos identificados.

El análisis del proceso actual de atención a fallas (AS-IS) permitió confirmar que los tiempos muertos excesivos en la reparación de las máquinas de inyección se originan principalmente en la falta de un proceso estructurado, en deficiencias de comunicación, en la ausencia de estandarización del diagnóstico y en la gestión ineficiente de recursos.

La información obtenida en este análisis constituye la base para la aplicación de herramientas de identificación de causas y para el diseño del nuevo proceso de mantenimiento correctivo, orientado a reducir el tiempo muerto y mejorar la eficiencia operativa del área de mantenimiento. Por lo tanto se adjunta el diagrama real del proceso de reparación de las máquinas de inyección, siendo obtenido por el análisis en conjunto de técnicos de inyección, coordinador de mantenimiento y residente.

Fallo y reparación de maquinas de inyección

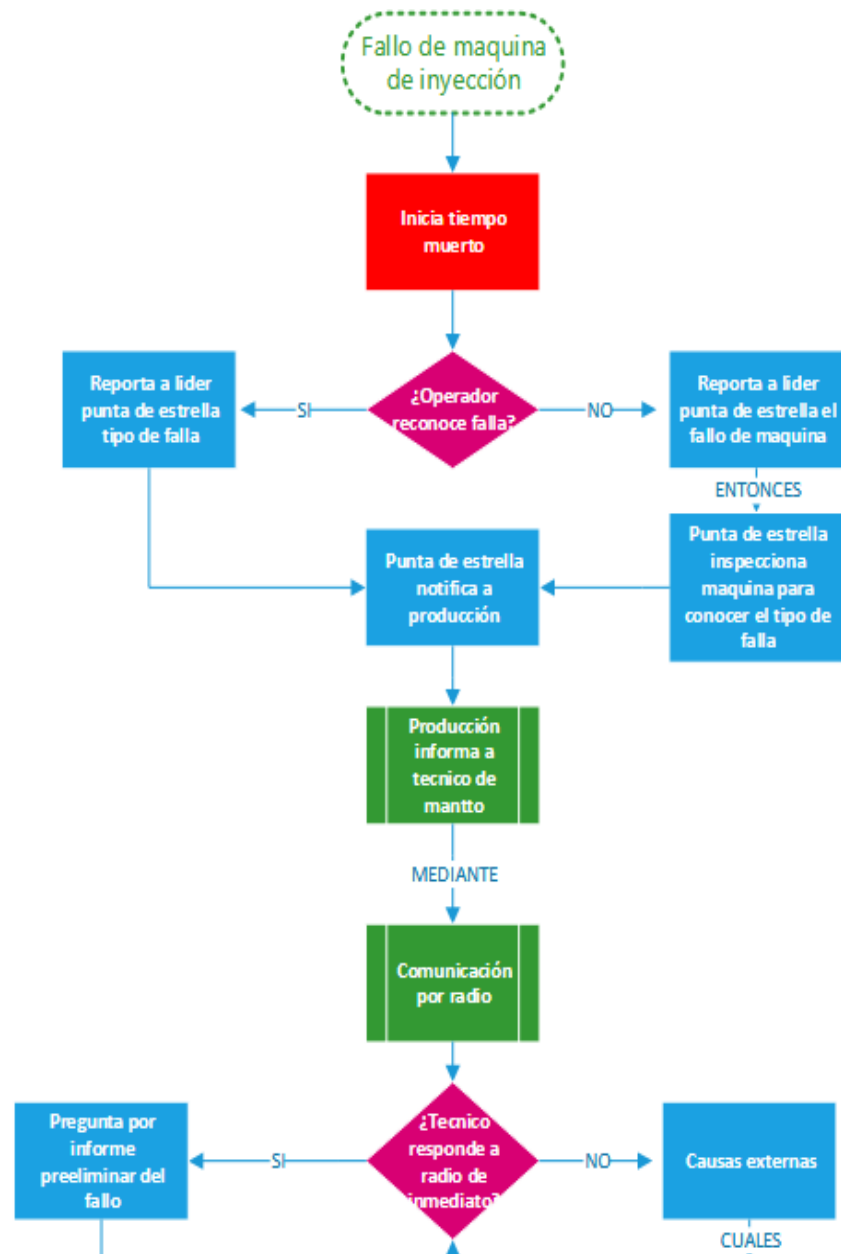


Ilustración 73. Diagrama de proceso del proceso de reparación de máquina de inyección parte 1. Elaboración propia

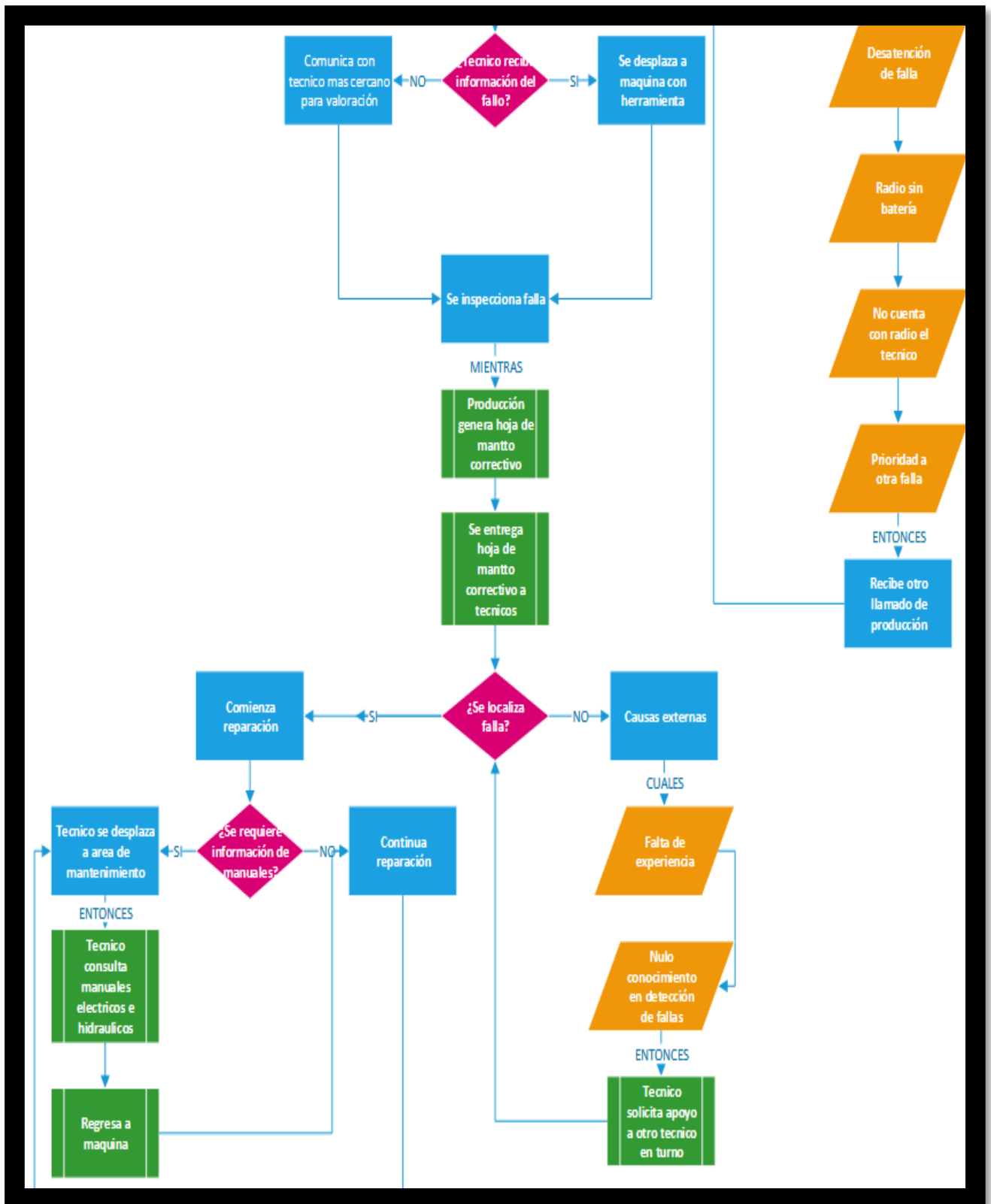


Ilustración 74. Diagrama de proceso del proceso de reparación de máquina de inyección parte 2. Elaboración propia

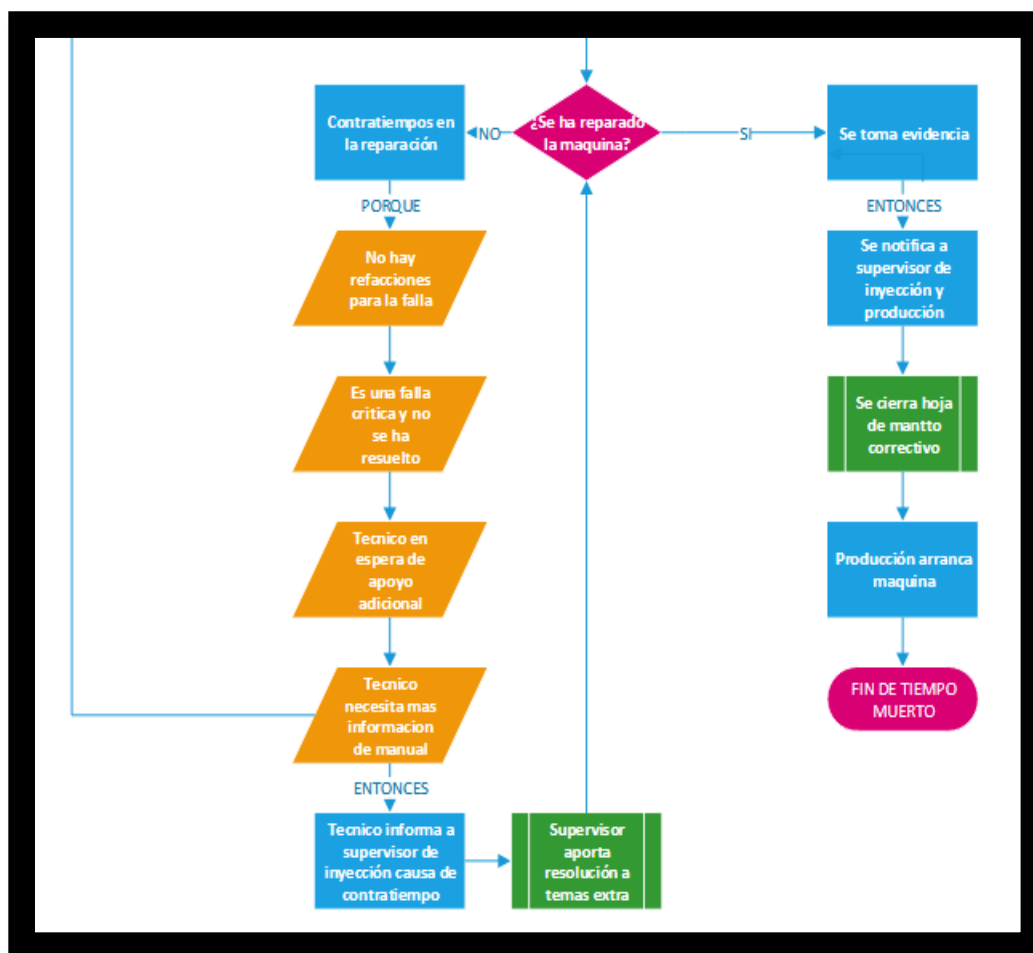


Ilustración 75. Diagrama de proceso del proceso de reparación de máquina de inyección parte 3. Elaboración propia

Análisis del proceso mediante diagrama de funciones cruzadas

Con el propósito de analizar de manera más detallada la interacción entre las áreas y el personal involucrado en la atención de fallas, se elaboró un diagrama de funciones cruzadas, el cual permite representar gráficamente el proceso actual de mantenimiento correctivo considerando la participación de cada uno de los actores involucrados.

Este tipo de diagrama facilita la identificación de roles, responsabilidades, puntos de interacción y dependencias entre el personal de producción, los técnicos de mantenimiento, el coordinador del área de inyección y otros actores que intervienen durante la reparación de las máquinas de inyección. A diferencia de un diagrama de flujo tradicional, el diagrama de funciones cruzadas permite visualizar quién realiza cada actividad y cómo se transfiere la responsabilidad a lo largo del proceso.

El diagrama elaborado muestra cómo el proceso de atención a fallas inicia generalmente en el área de producción, donde se detecta el problema, para posteriormente involucrar al personal de mantenimiento mediante una comunicación informal. A lo largo del proceso se identifican múltiples puntos en los que intervienen los técnicos de mantenimiento, así como momentos en los que se requiere la participación del coordinador del área de inyección para la toma de decisiones, asignación de prioridades o apoyo técnico.

El análisis del diagrama de funciones cruzadas permitió identificar diversas áreas de oportunidad, entre las cuales destacan:

- Falta de claridad en las responsabilidades de cada actor durante la atención de fallas.
- Dependencia excesiva del técnico para la toma de decisiones en ausencia de un procedimiento formal.
- Puntos de comunicación no definidos entre producción y mantenimiento.
- Interrupciones en el flujo del proceso al requerir validaciones o apoyos adicionales.
- Ausencia de un responsable claro del seguimiento del evento de falla.

Asimismo, el diagrama evidencia que el proceso actual presenta transiciones poco claras entre áreas, lo que contribuye a la generación de tiempos muertos por espera, retrabajo o falta de información. Esta información resulta fundamental para el diseño del nuevo proceso de mantenimiento correctivo, ya que permite definir de manera precisa los roles, responsabilidades y puntos de control que deben integrarse en el procedimiento propuesto.

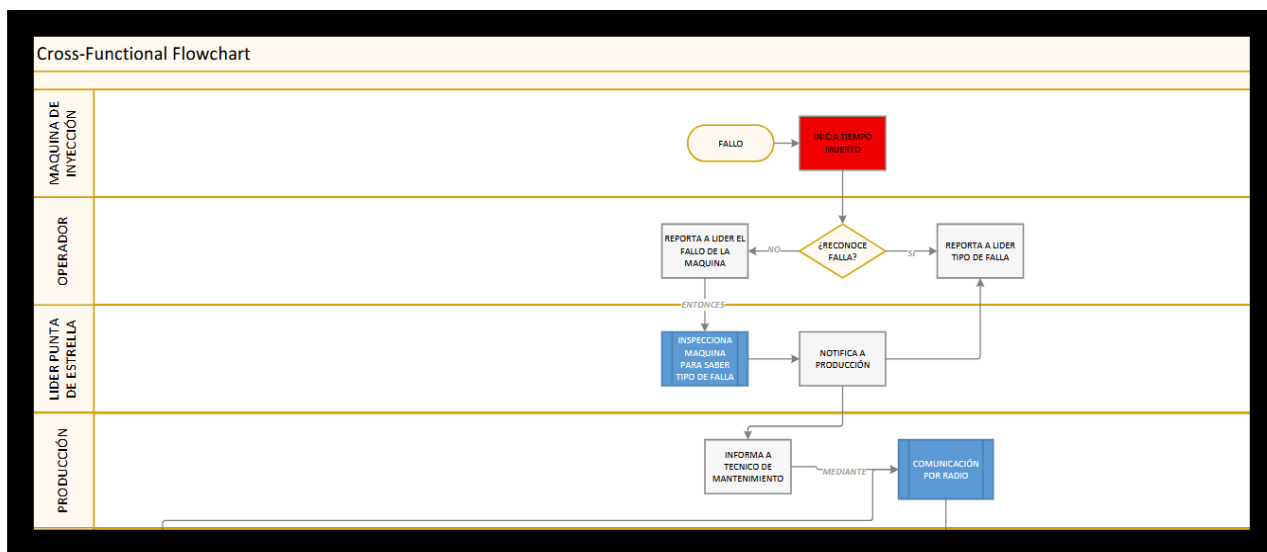


Ilustración 76. Diagrama de Funciones cruzadas parte 1

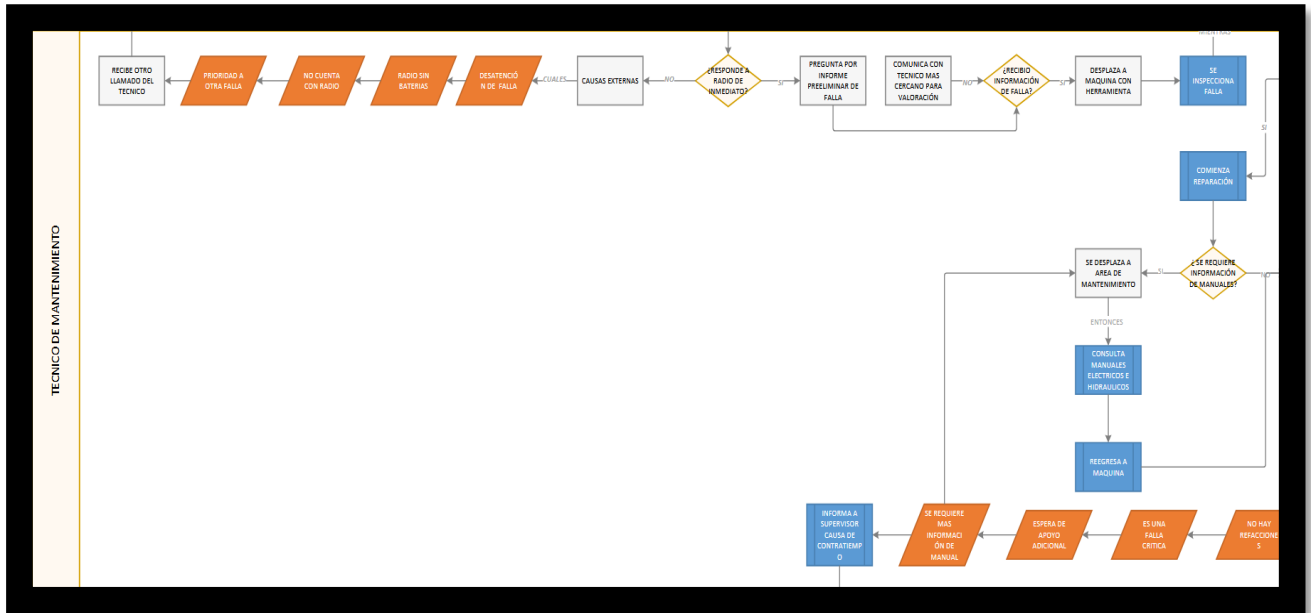


Ilustración 77. Diagrama de Funciones cruzadas parte 2

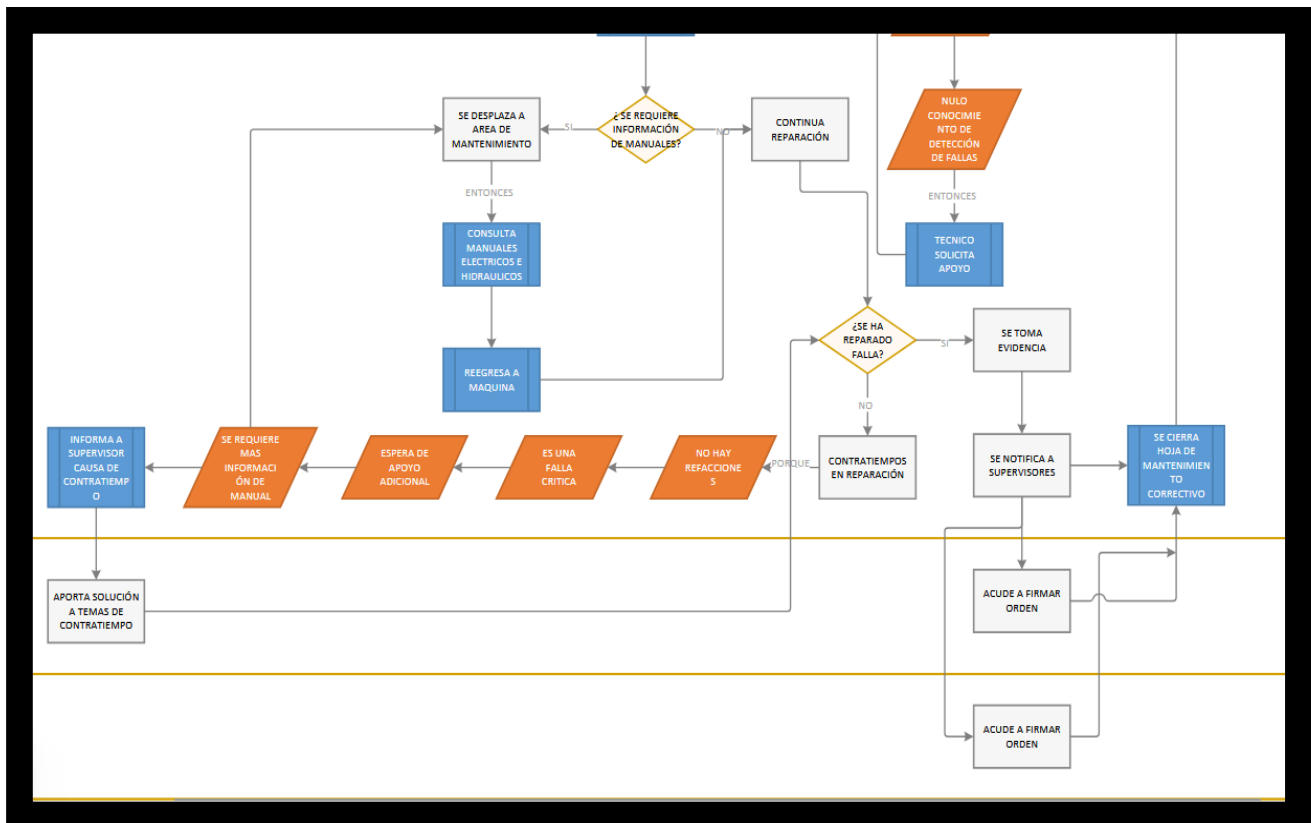


Ilustración 78. Diagrama de Funciones cruzadas parte 3

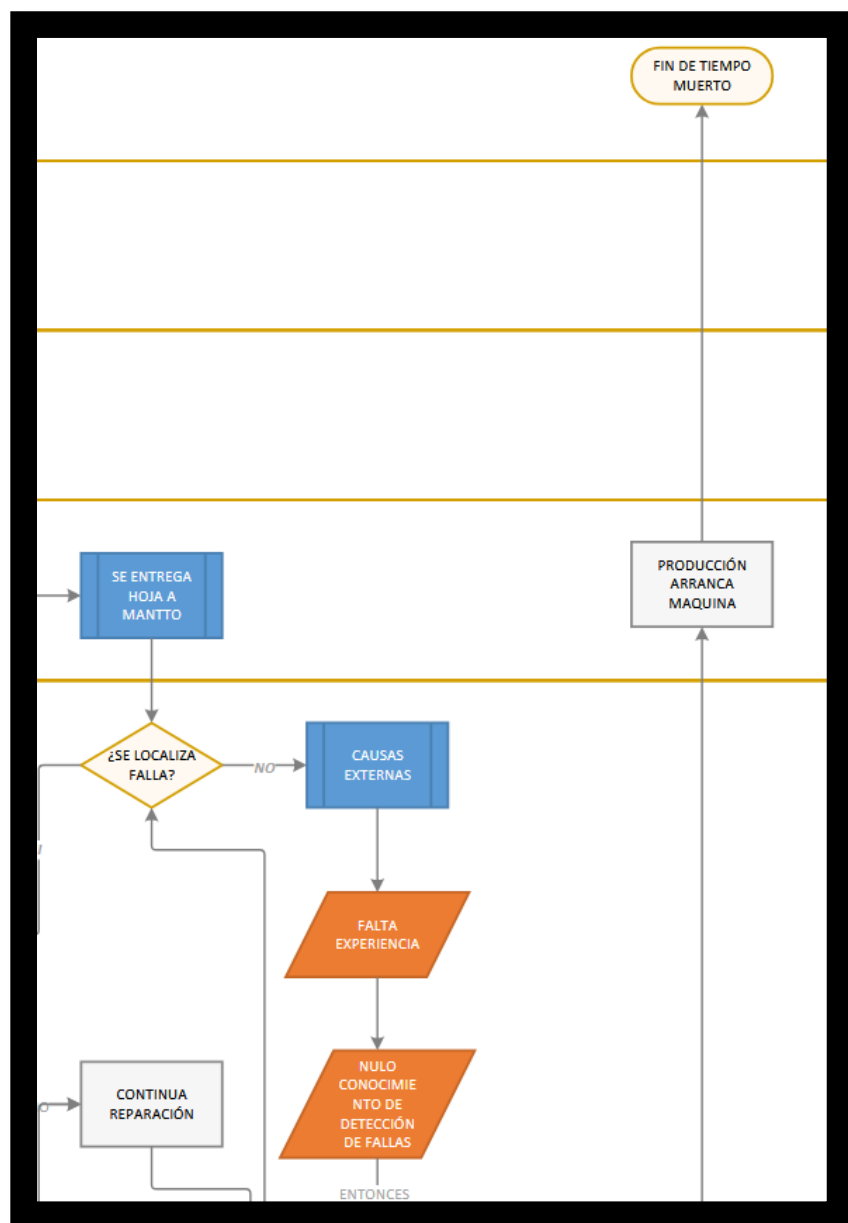


Ilustración 79. Diagrama de Funciones cruzadas parte 4

5.5.8 Identificación de causas del tiempo muerto

El objetivo de este paso es identificar y estructurar las causas raíz que generan los tiempos muertos excesivos durante la reparación de las máquinas de inyección. Para ello, se aplicaron herramientas de análisis reconocidas en ingeniería, integrando la información obtenida del diagnóstico, el levantamiento en campo y el análisis del proceso AS-IS.

Aplicación del método IS-IS NOT

El método IS-IS NOT se utilizó para delimitar con precisión el problema, evitando interpretaciones ambiguas y permitiendo diferenciar cuándo, dónde y cómo se presenta el tiempo muerto, así como las condiciones en las que no ocurre.

Mediante esta herramienta se compararon eventos de falla con tiempos de reparación elevados frente a eventos con tiempos de atención menores, considerando variables como tipo de máquina, turno, técnico asignado, disponibilidad de refacciones y nivel de complejidad de la falla. Este análisis permitió identificar patrones comunes asociados a los tiempos muertos, tales como la falta de comunicación inicial, ausencia de información técnica en sitio y dependencia de apoyo adicional.

Resultado metodológico: el problema no se presenta de manera aleatoria, sino bajo condiciones específicas relacionadas con el proceso de atención, más que con el tipo de falla en sí. En la siguiente tabla, se muestra la aplicación del método IS-IS NOT al análisis del tiempo muerto.

Tabla 24. Diagrama IS-IS NOT del análisis del tiempo muerto.

Diagrama IS – IS NOT (Proceso actual de mantenimiento en máquinas de inyección)

Categoría	IS / ES (Situación Actual)	IS NOT / NO ES (Situación que no corresponde)
Definición del problema	El proceso actual de mantenimiento presenta tiempos muertos prolongados por diagnóstico tardío y comunicación deficiente.	No es un proceso totalmente automatizado ni libre de intervención humana.
Ubicación / Alcance	Planta Motherson Zitlaltepec, área de inyección de plásticos.	No aplica a áreas de ensamble ni a líneas de pintado.
Momento en que ocurre	Durante la operación normal y paros correctivos de las máquinas de inyección.	No ocurre exclusivamente en mantenimientos preventivos programados.
Quiénes intervienen	Técnicos de mantenimiento, supervisores de producción y personal de calidad.	No participan proveedores externos ni personal administrativo.
Condiciones observadas	Procedimientos sin estandarizar, comunicación limitada y falta de registros completos.	No se trata de fallas por materiales defectuosos del cliente.
Evidencias	Hojas de mantenimiento incompletas, variación en la información de producción y mantenimiento.	No hay evidencia de sabotaje o fallas intencionales.

Impacto principal	Disminución de la disponibilidad de máquina y retrasos en la producción.	No impacta directamente en la calidad del producto final.
Objetivo del análisis	Identificar las causas raíz para mejorar la confiabilidad y reducir paros.	No busca implementar cambios estructurales en toda la planta.

Análisis causa–efecto mediante diagrama de Ishikawa

Para estructurar las posibles causas del tiempo muerto, se elaboró un diagrama de Ishikawa (causa–efecto), considerando las categorías clásicas adaptadas al contexto del mantenimiento industrial: Método, Mano de obra, Máquina, Materiales, Medición y Entorno.

El diagrama permitió agrupar y visualizar de manera ordenada las causas identificadas durante el diagnóstico, tales como:

- Método: inexistencia de procedimiento, falta de secuencia de diagnóstico, ausencia de seguimiento.
- Mano de obra: variabilidad en experiencia, dependencia del conocimiento individual.
- Materiales: falta de refacciones críticas, esperas por suministro.
- Máquina: accesos limitados, disposición física de componentes.
- Medición: ausencia de indicadores y registros confiables.
- Entorno: distribución del área, recorridos largos, comunicación informal.

Este análisis evidenció que las causas del tiempo muerto son multifactoriales y se originan principalmente en deficiencias del proceso y de la gestión del mantenimiento correctivo.

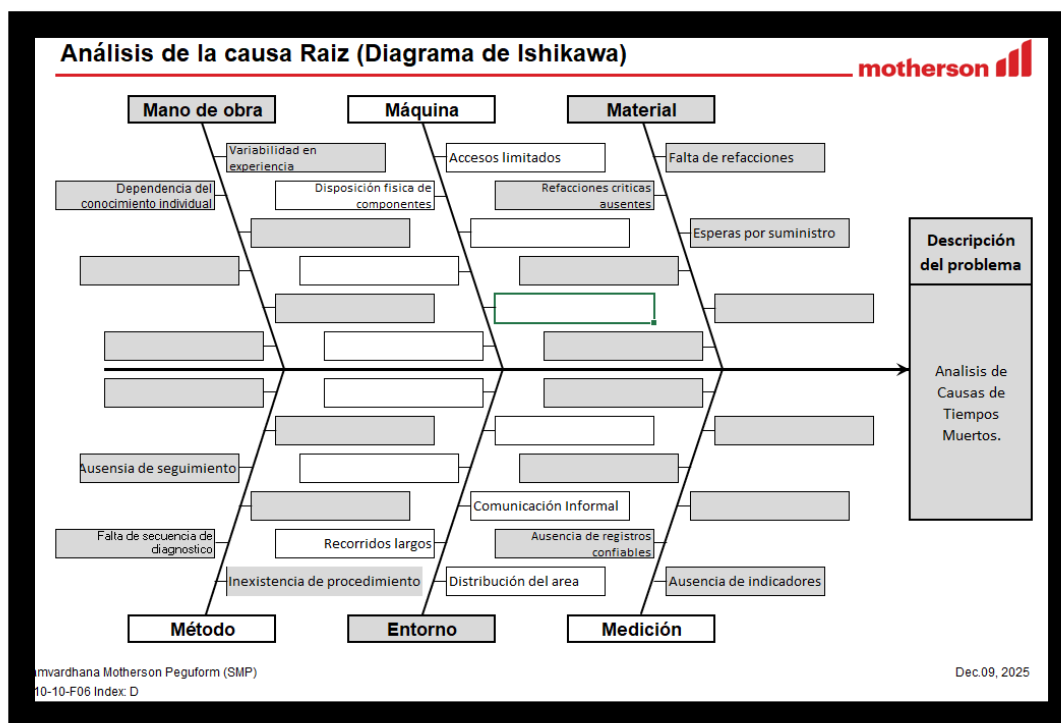


Ilustración 80. Diagrama de Ishikawa de análisis del área de inyección.

Análisis detallado mediante la herramienta 5W + 2H

Con base en la información obtenida del diagrama de flujo del proceso AS-IS y del diagrama de funciones cruzadas, se identificaron diversas problemáticas críticas que influyen directamente en el incremento del tiempo muerto durante la reparación de las máquinas de inyección. Para profundizar en el análisis de dichas problemáticas y estructurar sus posibles causas raíz, se aplicó la herramienta 5W + 2H, la cual permite analizar cada situación desde una perspectiva integral, considerando aspectos técnicos, organizacionales y humanos.

El análisis se realizó agrupando las problemáticas detectadas en cuatro bloques principales, los cuales se describen a continuación.

Problemática 1: Deficiencias en la comunicación entre producción y mantenimiento

Una de las principales problemáticas detectadas corresponde a la comunicación inicial de las fallas, la cual se realiza principalmente mediante radio. Se identificó que, en múltiples ocasiones, el técnico no responde de manera inmediata, lo que retrasa el inicio del proceso de atención a fallas.

Tabla 25. 5W+2H, Comunicación por radio.

Elemento	Análisis
What (¿Qué?)	Falta de respuesta inmediata del técnico al llamado por radio.

Why (¿Por qué?)	Desatención a la falla, radio sin batería, técnico sin radio asignado, prioridad a otra falla.
Where (¿Dónde?)	Área de inyección y zonas adyacentes de la planta.
When (¿Cuándo?)	Durante la detección y reporte inicial de la falla.
Who (¿Quién?)	Personal de producción, técnicos de mantenimiento, coordinador del área.
How (¿Cómo?)	Comunicación informal, sin confirmación de recepción del mensaje.
How much (¿Cuánto?)	Incremento del tiempo muerto por retraso en el arranque de la atención a la falla.

Análisis de posibles causas raíz

- No existe un protocolo formal de comunicación para el reporte de fallas.
- Falta de control sobre el estado y disponibilidad de radios.
- El técnico no cuenta con un criterio claro de prioridad cuando atiende múltiples eventos.
- Ausencia de un mecanismo de confirmación de recepción del reporte de falla.
- **Problemática 2: Dificultad en la localización y diagnóstico de la falla**
- Una vez que se inicia la atención a la falla, se detectó que en algunos casos el técnico logra localizar el área del problema, pero presenta dificultades para identificar con precisión la causa raíz de la falla.

Tabla 26. 5W+2H, Dificultad en Localización y Diagnostico de Falla.

Elemento	Análisis
What (¿Qué?)	Diagnóstico tardío o incorrecto de la falla.
Why (¿Por qué?)	Falta de experiencia, nulo conocimiento en detección de fallas específicas.
Where (¿Dónde?)	En la máquina de inyección afectada.
When (¿Cuándo?)	Durante la etapa de diagnóstico.
Who (¿Quién?)	Técnico de mantenimiento asignado.
How (¿Cómo?)	Diagnóstico empírico, sin una secuencia estandarizada.
How much (¿Cuánto?)	Incremento del tiempo de diagnóstico y repetición de pruebas.

Análisis de posibles causas raíz

- No existen procedimientos estandarizados de diagnóstico.
- La capacitación técnica no está homologada entre los técnicos.
- Falta de guías rápidas o checklists por tipo de falla.
- Dependencia excesiva del conocimiento individual.

Problemática 3: Recorridos largos por falta de manuales en sitio

Otra problemática relevante detectada es el tiempo perdido en recorridos debido a que los manuales de las máquinas no se encuentran disponibles cerca del punto de falla.

Tabla 27. 5W+2H, Acceso a Manuales Técnicos.

Elemento	Análisis
What (¿Qué?)	Traslados largos para consultar manuales.
Why (¿Por qué?)	Manuales centralizados lejos del área de falla.
Where (¿Dónde?)	Desde la máquina hasta el área donde se resguardan los manuales.
When (¿Cuándo?)	Durante el diagnóstico o la reparación.
Who (¿Quién?)	Técnico de mantenimiento.
How (¿Cómo?)	Caminatas repetitivas sin información previa disponible.
How much (¿Cuánto?)	Pérdida acumulada de tiempo muerto por traslados.

Análisis de posibles causas raíz

- Falta de manuales digitales o físicos en sitio.
- No existen estaciones técnicas cercanas a las máquinas.
- El proceso no contempla el acceso inmediato a información técnica.
- No se ha evaluado el impacto de los recorridos en el tiempo muerto.

Problemática 4: Contratiempos durante la reparación de la falla

Durante la ejecución de la reparación, se identificaron múltiples contratiempos que prolongan el tiempo muerto del equipo, incluso cuando la falla ya fue diagnosticada.

Tabla 28. 5W+2H, Ejecución de la reparación.

Elemento	Análisis
What (¿Qué?)	Reparación prolongada o detenida.
Why (¿Por qué?)	No hay refacciones, falla crítica no resuelta, espera de apoyo adicional, falta de información del manual.
Where (¿Dónde?)	En la máquina de inyección.
When (¿Cuándo?)	Durante la reparación y pruebas.
Who (¿Quién?)	Técnico de mantenimiento, coordinador.
How (¿Cómo?)	Interrupciones, espera pasiva, reintentos de reparación.
How much (¿Cuánto?)	Incremento significativo del tiempo muerto total.

Análisis de posibles causas raíz

- No existe una gestión de refacciones críticas.
- Falta de criterios claros para escalar fallas críticas.
- Dependencia del apoyo de técnicos con mayor experiencia.
- Falta de información técnica completa durante la reparación.

Integración del análisis 5W + 2H

El análisis detallado mediante la herramienta 5W + 2H permitió identificar que las problemáticas detectadas no se presentan de manera aislada, sino que están interrelacionadas y se originan principalmente en la ausencia de un proceso estructurado, deficiencias en la comunicación, falta de estandarización del diagnóstico, carencia de información técnica accesible y gestión inadecuada de refacciones y recursos.

La integración de este análisis proporciona una base sólida para la definición de requerimientos del nuevo proceso de mantenimiento correctivo, asegurando que las propuestas de mejora se enfoquen directamente en las causas raíz del tiempo muerto y no únicamente en sus efectos.

5.5.9 Comparación de los formatos de registro de tiempos muertos de producción y mantenimiento

Como parte del análisis del proceso actual de atención a fallas y de la identificación de las causas del tiempo muerto, se realizó una comparación entre los formatos utilizados por el área de producción y el área de mantenimiento para el registro de los tiempos muertos en las máquinas de inyección.

El objetivo de esta comparación fue evaluar la calidad, nivel de detalle y confiabilidad de la información registrada, considerando que los registros constituyen una fuente clave para el análisis del desempeño del proceso y la toma de decisiones.

Análisis del formato de registro de tiempos muertos del área de producción

Se identificó que el formato de producción para el registro de tiempos muertos es llenado de manera constante y estructurada por cada operador de máquina, lo que permite obtener información detallada y confiable sobre los eventos ocurridos durante la operación.

Este formato incluye, entre otros, los siguientes apartados:

- Identificación de la máquina de inyección.
- Turno de operación.
- Tiempos muertos registrados.
- Número de paros.
- Supervisor responsable.
- Clasificación de paros por:
 - Averías

- Paro programado
- Cambio de serie
- Registro de scrap generado.

La estructura del formato y su llenado sistemático permiten contar con una trazabilidad clara de los eventos ocurridos en cada máquina, facilitando el análisis del comportamiento del proceso productivo y la identificación de pérdidas asociadas a paros y defectos.

Análisis del formato de registro del área de mantenimiento

En contraste, se identificó que el formato utilizado por el área de mantenimiento para el registro de tiempos muertos y actividades de reparación no cuenta con el mismo nivel de detalle ni estandarización. Durante la revisión de estos formatos se observó que:

- No todos los campos necesarios para el análisis del tiempo muerto están incluidos.
- El formato no se llena de manera completa en todos los casos.
- No existe una estandarización clara sobre quién debe llenar el formato y en qué momento.
- La información registrada no permite identificar con precisión:
 - Tiempos parciales (diagnóstico, espera, reparación).
 - Causa raíz de la falla.
 - Recursos utilizados.
 - Seguimiento de la reparación.

Estas deficiencias limitan la capacidad del área de mantenimiento para analizar su desempeño, identificar tendencias de fallas y establecer acciones de mejora basadas en datos confiables.

Comparación entre ambos formatos y análisis de impacto

La comparación entre los formatos de producción y mantenimiento evidencia una asimetría en la calidad de la información registrada, siendo el formato de producción el que presenta mayor nivel de detalle, consistencia y confiabilidad.

Esta diferencia tiene un impacto directo en el análisis del tiempo muerto, ya que:

- La información de producción permite identificar claramente cuándo y cuánto tiempo estuvo detenida una máquina.
- La información de mantenimiento no permite explicar con precisión por qué ocurrió el paro ni cómo se atendió la falla.

- Se dificulta la correlación entre el paro registrado por producción y la intervención realizada por mantenimiento.
- No se cuenta con una base sólida para medir indicadores como MTTR ni para evaluar la efectividad del mantenimiento correctivo

Se adjunta hoja de tiempos muertos de las 2 áreas.

Identificación de la deficiencia como causa raíz del tiempo muerto

A partir de este análisis comparativo, se identifica que la falta de un formato de mantenimiento completo, estandarizado y correctamente llenado constituye una causa raíz indirecta del tiempo muerto, ya que impide:

- El análisis histórico de fallas.
- La identificación de patrones recurrentes.
- La mejora del proceso de atención a fallas.
- La toma de decisiones basada en datos.

Esta situación refuerza la necesidad de diseñar un nuevo proceso estructurado de mantenimiento correctivo, que incluya formatos de registro alineados con los de producción, permitiendo una visión integral del desempeño de las máquinas de inyección.

Reservation



motherson

Ticket de trabajo

Fecha : 30/10/2025 Planta PM : 1053
 Orden : 8500005117 Ubicación Funcional : 1053-010-1100-1101-2700
 Tipo de orden : ZPM5 Equipo : 100000185
 Descripción : FALLA DE PRENSA
 Descripción del equipo : IMM MX 2700 - 01 [507001] BATTENFELD
 Maintenance plan : Centro de trabajo : PM_ELECT
 Fecha de inicio : 30-oct-25 Fecha final : 31-oct-25

Operación 0010

IO NIO

Centro de trabajo : PM_ELECT

Duration : 0 MIN

☐ ☐

 Operación steps
 FALLA DE PRENSA

Operación notes

Responsible Pers. Name Print	Name (Signature)	Pers-Nr.	Initial and End date	Initial Time	End Time	Total hrs without Pause in Decimal
	Alfreda	6751	29/10/25			20 min
Supervisor						

3^{ra}

Ilustración 81. Hoja de reporte de mantenimiento donde se registra tiempos muertos

Derivado del trabajo realizado en conjunto con el asesor interno, coordinador de mantenimiento del área de inyección, se determinó que, debido a las limitaciones de tiempo propias del periodo de residencias profesionales, no fue posible llevar a cabo la implementación completa de las soluciones propuestas para las problemáticas identificadas en el proceso de mantenimiento correctivo de las máquinas de inyección.

No obstante, es importante destacar que el enfoque del proyecto se centró en el análisis integral del proceso, partiendo de la identificación de que no existía un proceso formal, documentado ni estandarizado para la atención de fallas. A partir de esta condición inicial, el residente realizó el levantamiento completo de la información, el diagnóstico de la situación actual y el análisis detallado de las deficiencias del proceso, utilizando herramientas formales de ingeniería.

Mediante la aplicación del diagrama de flujo del proceso AS-IS, el diagrama de funciones cruzadas y el análisis 5W + 2H, se identificaron cuatro problemáticas críticas que influyen directamente en el incremento del tiempo muerto durante la reparación de las máquinas de inyección, relacionadas principalmente con la comunicación, el diagnóstico de fallas, el acceso a información técnica y los contratiempos durante la reparación.

A partir de este análisis, se procedió a la propuesta de soluciones específicas para cada una de las problemáticas identificadas, las cuales se plantean como acciones de mejora factibles que pueden ser implementadas posteriormente por el área de mantenimiento, una vez superadas las limitaciones de tiempo del proyecto. Estas propuestas se desarrollaron con base en el análisis de causas raíz, las condiciones reales de operación del área de inyección y la experiencia del personal técnico involucrado.

Es relevante señalar que todo el análisis realizado, desde la identificación de la inexistencia del proceso hasta la propuesta de soluciones, fue desarrollado íntegramente por el residente, con el acompañamiento y validación del asesor interno y del asesor externo, lo que permitió estructurar un diagnóstico sólido y fundamentado del proceso de mantenimiento correctivo.

De esta manera, el valor principal del proyecto radica en la documentación, análisis y estructuración de un proceso que previamente no existía, así como en la identificación clara de las áreas de oportunidad y la generación de propuestas técnicas orientadas a la reducción

del tiempo muerto. Este trabajo sienta las bases para que las acciones propuestas puedan ser implementadas y evaluadas en etapas posteriores, contribuyendo a la mejora continua del área de mantenimiento de máquinas de inyección.

5.6 Resultados generales del proyecto numero 2

Los resultados del presente proyecto se derivan del análisis integral del proceso de mantenimiento correctivo aplicado a las máquinas de inyección en la planta Motherson Tlaxcala, desarrollado durante el periodo de residencias profesionales. Es importante destacar que, al inicio del proyecto, no existía un proceso formal, documentado ni estandarizado para la atención de fallas, por lo que las actividades de mantenimiento se realizaban de manera empírica y dependiente de la experiencia individual del personal técnico.

Ante esta situación, los resultados obtenidos no se enfocan en la implementación de acciones correctivas, sino en la identificación, documentación y análisis estructurado de las deficiencias del proceso actual, así como en la formulación de propuestas de mejora orientadas a la reducción del tiempo muerto durante la reparación de las máquinas de inyección.

Resultado del diagnóstico del proceso actual

Como resultado del diagnóstico realizado mediante observación directa, participación activa con los técnicos, análisis de layouts, revisión de formatos y mapeo del proceso AS-IS, se confirmó que el mantenimiento correctivo carece de una estructura definida, lo que genera variabilidad en la atención de fallas y dificulta el control del proceso.

Se identificó que:

- No existe una secuencia clara de acciones para atender fallas.
- La comunicación entre producción y mantenimiento es informal y no estandarizada.
- No se cuenta con mecanismos de seguimiento efectivos de las actividades realizadas.
- El registro de tiempos muertos por parte del área de mantenimiento es incompleto y poco confiable.

Estos hallazgos evidencian que el tiempo muerto no se origina únicamente en la reparación técnica del equipo, sino en deficiencias del proceso y de la gestión del mantenimiento correctivo.

Resultados del análisis del proceso AS-IS

El análisis del proceso AS-IS permitió identificar las etapas reales que conforman la atención a fallas, así como los puntos donde se generan **tiempos muertos significativos**. A través del diagrama de flujo y del diagrama de funciones cruzadas se observó que el proceso presenta múltiples interrupciones, transferencias de responsabilidad poco claras y actividades sin valor agregado.

Entre los principales resultados de este análisis se encuentran:

- Retrasos en el inicio de la atención a fallas debido a problemas de comunicación.
- Tiempos prolongados de diagnóstico por falta de experiencia o información técnica.
- Esperas innecesarias por refacciones, apoyo adicional o validaciones.
- Recorridos largos dentro del área de inyección que incrementan el tiempo muerto.

El diagrama de funciones cruzadas permitió además identificar la interacción entre producción, técnicos y coordinador, evidenciando la falta de claridad en roles y responsabilidades durante la atención de fallas.

Resultados del análisis de causas del tiempo muerto

Mediante la aplicación de herramientas de análisis como IS-IS NOT, diagrama de Ishikawa y 5W + 2H, se logró identificar y estructurar las causas raíz del tiempo muerto excesivo en la reparación de las máquinas de inyección.

Como resultado de este análisis, se identificaron cuatro problemáticas críticas principales:

1. Deficiencias en la comunicación inicial de las fallas, derivadas del uso informal del radio, falta de respuesta inmediata y ausencia de protocolos claros.
2. Dificultades en el diagnóstico de fallas, relacionadas con la falta de experiencia, nulo conocimiento en detección de ciertas fallas y ausencia de procedimientos estandarizados.
3. Recorridos largos y pérdida de tiempo por acceso limitado a manuales, debido a la centralización de la información técnica lejos del punto de falla.
4. Contratiempos durante la reparación, asociados a la falta de refacciones, fallas críticas no resueltas, espera de apoyo adicional y carencia de información técnica en sitio.

Estas problemáticas explican de manera estructurada el origen del tiempo muerto y evidencian que el problema es sistémico, no atribuible a un solo factor o persona.

Resultados de la comparación de registros de tiempos muertos

La comparación entre los formatos de registro de tiempos muertos de producción y mantenimiento permitió identificar una diferencia significativa en la calidad y nivel de detalle de la información registrada.

Se obtuvo como resultado que:

- Los formatos de producción son llenados de manera constante por cada operador de máquina e incluyen información detallada como máquina, turno, número de paros, tipo de paro, scrap y supervisor.
- Los formatos de mantenimiento no cuentan con todos los apartados necesarios y, en muchos casos, no se llenan completamente ni permiten dar seguimiento a las actividades realizadas.

Este resultado evidencia que la falta de registros confiables en mantenimiento limita el análisis del desempeño del proceso y dificulta la medición de indicadores como el tiempo de reparación y el tiempo muerto total.

Resultados del trabajo del residente

Uno de los resultados más relevantes del proyecto es que todo el análisis del proceso fue desarrollado desde cero, debido a la inexistencia de un proceso formal previo. El residente realizó:

- El levantamiento completo del proceso real de mantenimiento correctivo.
- El análisis del área de inyección mediante layouts generales e individuales de máquinas.
- La identificación de deficiencias operativas y organizacionales.
- El análisis de causas raíz del tiempo muerto.
- La formulación de propuestas de mejora para las problemáticas detectadas.

Este trabajo permitió estructurar por primera vez una visión clara del proceso de mantenimiento correctivo en las máquinas de inyección, sentando las bases para futuras acciones de mejora.

Resultados finales y preparación para la propuesta

Como resultado final del proyecto, se cuenta con un diagnóstico integral y fundamentado del proceso de mantenimiento correctivo, así como con la identificación clara de las problemáticas críticas que generan tiempos muertos excesivos. Aunque no fue posible implementar las soluciones propuestas debido a las limitaciones de tiempo del periodo de

residencias profesionales, el análisis realizado permite definir acciones de mejora viables y alineadas a la realidad operativa del área.

Estos resultados constituyen el insumo principal para la propuesta de soluciones y para las conclusiones del proyecto, demostrando el valor del análisis realizado y la aportación del residente al área de mantenimiento de la planta Motherson Tlaxcala.

Capítulo VI Conclusiones

Conclusiones generales

El desarrollo del presente proyecto de titulación permitió aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos durante la formación académica en un entorno industrial real, a través de la ejecución de dos proyectos distintos desarrollados de manera simultánea durante el periodo de residencias profesionales en la planta Motherson Tlaxcala. Ambos proyectos respondieron a necesidades reales de la organización y estuvieron orientados a la mejora de procesos críticos relacionados con la seguridad industrial y la eficiencia operativa.

La ejecución paralela de ambos proyectos representó un reto significativo en términos de gestión del tiempo, priorización de actividades y coordinación con diferentes áreas, sin embargo, permitió desarrollar una visión integral de los procesos industriales y fortalecer competencias técnicas, analíticas y organizacionales.

La ejecución simultánea de ambos proyectos durante el mismo periodo de residencias profesionales representó un desafío importante, ya que implicó atender dos problemáticas distintas con enfoques técnicos diferentes, una orientada a la seguridad industrial y otra a la eficiencia operativa. Esta situación requirió una adecuada organización del tiempo, coordinación con múltiples áreas y capacidad de adaptación a las condiciones cambiantes de la planta.

No obstante, el desarrollo paralelo de ambos proyectos permitió aplicar una metodología de análisis estructurada, adaptable a distintos contextos, y demostró la capacidad del residente para identificar problemas, analizar procesos, trabajar con equipos multidisciplinarios y generar propuestas de mejora fundamentadas.

En conjunto, ambos proyectos aportaron valor a la planta Motherson Tlaxcala al fortalecer el control y mantenimiento de sistemas críticos, sentando las bases para futuras mejoras tanto en materia de seguridad como de productividad.

Conclusiones del proyecto de análisis y mejora del Sistema Contra Incendio (SCI)

El proyecto enfocado en el análisis y mejora del Sistema Contra Incendio (SCI) permitió identificar diversas áreas de oportunidad relacionadas con el estado operativo, el mantenimiento y la documentación del sistema, evidenciando la importancia de contar con procesos estructurados para garantizar la confiabilidad de los equipos de seguridad.

Entre los principales logros del proyecto se encuentra la realización de pruebas funcionales al sistema, el análisis de parámetros operativos del motor contra incendio, la generación de curvas de desempeño con apoyo de un proveedor externo, la ejecución de pruebas en alarmas y la liberación de componentes que se encontraban bloqueados. Estas actividades permitieron verificar el estado real del sistema y asegurar su correcto funcionamiento bajo condiciones controladas.

Asimismo, se logró la elaboración y actualización de checklists de mantenimiento, contribuyendo a la estandarización de las actividades y a la mejora del control documental del SCI. Este proyecto permitió fortalecer la cultura de mantenimiento preventivo y correctivo en un sistema crítico para la seguridad de las instalaciones y del personal.

Entre las principales complicaciones enfrentadas se encuentran la coordinación con proveedores externos, la necesidad de ejecutar pruebas sin afectar la operación de la planta y la gestión del tiempo para atender un sistema que, aunque no opera de forma continua, requiere alta confiabilidad. No obstante, los resultados obtenidos aportan valor directo a la seguridad industrial y al cumplimiento normativo de la planta.

Conclusiones del proyecto de reducción de tiempos muertos en la reparación de máquinas de inyección

El proyecto de reducción de tiempos muertos en la reparación de máquinas de inyección permitió identificar que no existía un proceso formal, documentado ni estandarizado para la atención de fallas, lo que provocaba una alta dependencia de la experiencia individual del personal técnico y una variabilidad significativa en los tiempos de reparación.

A través del diagnóstico del proceso actual, el análisis del área de inyección mediante layouts, el mapeo del proceso AS-IS, el diagrama de funciones cruzadas y la aplicación de herramientas de análisis de causas, se logró estructurar por primera vez una visión integral del proceso de mantenimiento correctivo, identificando las principales problemáticas que generan tiempos muertos excesivos.

Como resultado del análisis, se identificaron cuatro problemáticas críticas relacionadas con la comunicación, el diagnóstico de fallas, el acceso a información técnica y los contratiempos durante la reparación, lo que permitió proponer soluciones técnicas y organizacionales orientadas a la mejora del proceso. Aunque no fue posible implementar dichas soluciones debido a las limitaciones de tiempo del periodo de residencias, el proyecto dejó definidas las bases necesarias para su futura aplicación.

Una de las principales aportaciones del proyecto fue la documentación completa del proceso, la comparación de registros de tiempos muertos entre producción y mantenimiento y la identificación de deficiencias en los mecanismos de medición y seguimiento, elementos clave para la mejora continua del área de mantenimiento.

Conclusión Final.

En conclusión, el proyecto de titulación cumplió con los objetivos planteados al analizar, documentar y proponer mejoras en procesos clave de la planta, demostrando que, aun ante limitaciones de tiempo, es posible generar aportaciones técnicas significativas mediante un análisis riguroso y una metodología adecuada. La experiencia adquirida durante el desarrollo de ambos proyectos fortaleció las competencias profesionales del residente y contribuyó a su formación como ingeniero, preparado para enfrentar problemáticas reales en el entorno industrial.

Capítulo VII Competencias generadas y aplicadas

Competencias técnicas aplicadas

Durante el desarrollo de ambos proyectos se aplicaron competencias técnicas propias de la ingeniería, entre las cuales destacan las siguientes:

- **Análisis de procesos industriales**, mediante la identificación, documentación y evaluación de procesos inexistentes o no estandarizados, particularmente en el mantenimiento correctivo de máquinas de inyección.
- **Diagnóstico de sistemas industriales**, aplicado tanto al Sistema Contra Incendio como a los equipos de inyección, evaluando su estado operativo, funcionamiento y condiciones reales de mantenimiento.
- **Aplicación de herramientas de ingeniería**, tales como diagramas de flujo, diagramas de funciones cruzadas, análisis IS–IS NOT, diagramas de Ishikawa y la metodología 5W + 2H, para la identificación de causas raíz y áreas de oportunidad.
- **Interpretación de documentación técnica**, incluyendo manuales de máquinas de inyección, planos, layouts del área, checklists y registros de mantenimiento.
- **Análisis de tiempos muertos y desempeño operativo**, mediante la revisión y comparación de registros de producción y mantenimiento, identificando deficiencias en los sistemas de medición y control.
- **Elaboración de documentación técnica**, como procedimientos, formatos de registro, checklists y diagramas, orientados a la mejora de procesos y al control de actividades.

Competencias metodológicas desarrolladas

El proyecto permitió fortalecer competencias relacionadas con el uso de metodologías de análisis y mejora continua, tales como:

- **Planeación y ejecución de investigaciones aplicadas**, enfocadas en la solución de problemáticas reales dentro de un entorno industrial.
- **Diseño de metodologías de análisis**, partiendo de la inexistencia de procesos formales y estructurando un diagnóstico desde cero.

- **Gestión de información técnica y operativa**, integrando datos obtenidos mediante observación directa, participación activa en campo y revisión documental.
- **Capacidad de análisis crítico**, al evaluar procesos existentes, identificar deficiencias y proponer soluciones viables alineadas a las condiciones reales de operación.
- **Adaptación metodológica**, al desarrollar dos proyectos con enfoques distintos dentro del mismo periodo, ajustando las herramientas y métodos a cada contexto

Competencias relacionadas con la gestión y organización

Durante la ejecución simultánea de ambos proyectos se desarrollaron competencias clave en la gestión de actividades y recursos, entre las que se encuentran:

- **Gestión del tiempo y priorización de actividades**, al atender dos proyectos en paralelo durante el periodo de residencias profesionales.
- **Coordinación con diferentes áreas**, incluyendo mantenimiento, producción, seguridad industrial, proveedores externos y asesores.
- **Trabajo bajo restricciones**, particularmente ante la limitación de tiempo que impidió la implementación completa de las soluciones propuestas.
- **Seguimiento de actividades**, mediante la organización del trabajo diario y la documentación sistemática de avances y hallazgos.

Competencias de comunicación y trabajo colaborativo

El proyecto permitió aplicar y fortalecer competencias relacionadas con la interacción profesional dentro del entorno industrial, tales como:

- **Comunicación técnica efectiva**, al interactuar con técnicos de mantenimiento, coordinadores, operadores de producción y asesores internos y externos.
- **Trabajo en equipo multidisciplinario**, colaborando con personal de distintos niveles jerárquicos y áreas funcionales.
- **Presentación y justificación de análisis técnicos**, explicando hallazgos, diagnósticos y propuestas de mejora ante personal especializado

- **Capacidad de escucha y retroalimentación**, integrando la experiencia del personal técnico al análisis del proceso.

Referencias

- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Fluid mechanics: Fundamentals and applications*. McGraw-Hill.
- Chiavenato, I. (2019). *Introducción a la teoría general de la administración* (10.^a ed.). McGraw-Hill.
- Dhillon, B. (2006). *Reliability engineering: Theory and applications*. Springer.
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering maintenance: A modern approach*. CRC Press.
- Dhillon, B. S. (2013). *Engineering maintenance: A modern approach*. CRC Press.
- Drysdale, D. (2011). *An introduction to fire dynamics* (3rd ed.). Wiley.
- European Agency for Safety and Health at Work. (2012). *Why is maintenance a high-risk activity?* EU-OSHA.
- Fernández, J., & Morales, R. (2021). Análisis de fallas en sistemas de protección contra incendios industriales. *Revista de Ingeniería y Seguridad Industrial*, 12(3), 45–57.
- Finnemore, E. J., & Franzini, J. B. (2002). *Fluid mechanics with engineering applications* (10th ed.). McGraw-Hill.
- Fire Protection Research Foundation. (2020). *Fire pump reliability report*. National Fire Protection Association.
- FM Global. (2024). *Property loss prevention data sheets 3-01: Fire protection requirements for industrial facilities*. FM Global.
- García Garrido, J. (2017). *Mantenimiento industrial*. Marcombo.
- García Garrido, J. (2017). *Mantenimiento industrial: Estrategias y técnicas modernas*. Marcombo.
- Grimwood, P., Fogarty, A., & Desmet, B. (2020). *Industrial firefighting techniques*. Fire Protection Publications.
- Hannover Messe. (n.d.). *Maintenance manual* (Version 6.0).
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.
- Hollnagel, E. (2014). *Safety-I and Safety-II: The past and future of safety management*. Ashgate.

- Hopkins, A. (2012). *Disastrous decisions: The human and organisational causes of the Gulf of Mexico blowout*. CCH Australia.
- Ingeniare. Revista chilena de ingeniería. (2013). *Ingeniare*, 21(1), 125–138.
- International Electrotechnical Commission. (2015). *IEC 60050-192: International electrotechnical vocabulary – Dependability*. IEC.
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9001: Quality management systems—Requirements*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO 55000: Asset management—Overview, principles and terminology*. ISO.
- Kelly, A. (2014). *Maintenance strategy: Business-centred maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Khan, F., & Abbasi, S. A. (2019). A review of reliability issues in fire protection systems. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 62, 103–114.
- Knezevic, J. (1997). *Systems reliability and maintainability: Fundamentals and applications*. Kluwer Academic.
- López, J. (2019). *Evaluación del mantenimiento en sistemas de protección contra incendios en instalaciones industriales* (Tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional.
- Manuele, F. A. (2014). *Advanced safety management: Focusing on Z10 and serious injury prevention*. Wiley.
- Martínez, A., López, D., & Herrera, P. (2021). Evaluación del desempeño operativo de sistemas contra incendios en plantas manufactureras. *Revista Mexicana de Ingeniería Industrial*, 8(2), 33–50.
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance* (2nd ed.). Industrial Press.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total productive maintenance*. Productivity Press.
- National Fire Protection Association. (2019). *NFPA 551: Guide for the evaluation of fire risk assessments*. NFPA.
- National Fire Protection Association. (2021). *Fire protection handbook* (21st ed.). NFPA.

- National Fire Protection Association. (2022). *NFPA 20: Standard for the installation of stationary pumps for fire protection*. NFPA.
- National Fire Protection Association. (2022). *NFPA 72: National fire alarm and signaling code*. NFPA.
- National Fire Protection Association. (2023). *NFPA 25: Standard for the inspection, testing, and maintenance of water-based fire protection systems*. NFPA.
- National Fire Protection Association. (2023). *NFPA codes and standards*. NFPA.
- Pérez, L., & Solís, M. (2022). Diagnóstico del mantenimiento de sistemas contra incendios en la industria pesada. *Ingeniería Aplicada*, 15(1), 22–31.
- Reason, J. (2000). *Human error*. Cambridge University Press.
- United States Patent and Trademark Office. (2021). *U.S. Patent No. 10,998,321*. USPTO.
- Wireman, T. (2005). *Developing performance indicators for managing maintenance*. Industrial Press.