



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE GUASAVE

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN DESARROLLO REGIONAL Y
TECNOLÓGICO**

T E S I S

**IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA TPM-LEAN
MANUFACTURING Y SUSTENTABILIDAD PARA MEJORAR LA
EFECTIVIDAD DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE SERVICIO DE
LA EMPRESA POZOS PROFUNDOS JAVIER ANGULO**

**Trabajo de Titulación que presenta el C.
JORGE HUMBERTO PÉREZ LÓPEZ**

**Para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Desarrollo
Regional y Tecnológico**



Director de tesis:

DR. JUAN HÉCTOR ALZATE ESPINOZA

Codirectora de tesis:

DRA. GRACE ERANDY BÁEZ HERNÁNDEZ

GUASAVE, SINALOA, MÉXICO. JUNIO DE 2026

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE GUASAVE

El presente trabajo recepcional titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA TPM-LEAN MANUFACTURING Y SUSTENTABILIDAD PARA MEJORAR LA EFECTIVIDAD DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE SERVICIO DE LA EMPRESA POZOS PROFUNDOS JAVIER ANGULO**, realizado por el alumno: **JORGE HUMBERTO PÉREZ LÓPEZ**, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN DESARROLLO REGIONAL Y TECNOLÓGICO

CONSEJO PARTICULAR

PRESIDENTE: Dr. Juan Héctor Alzate Espinoza

SECRETARIA: Dra. Grace Erandy Báez Hernández

VOCAL: M.C. Gregorio Pollorena López

Guasave, Sinaloa. Junio, 2026.

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Agradecimientos

Agradezco al Dr. Juan Héctor Alzate Espinoza director de esta tesis, por su acompañamiento, conocimientos compartidos y orientación a lo largo de esta investigación; De igual manera a la Dra. Grace Erandy Báez Hernández codirectora, por su apoyo constante, paciencia y valiosas sugerencias.

También agradezco a mis maestros del programa de Maestría en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico por su dedicación y compromiso en la formación académica.

A mis compañeros de grupo quienes hicieron de esta experiencia un proceso enriquecedor, colaborativo y lleno de aprendizajes.

Un agradecimiento muy especial a la empresa Pozos Profundos Javier Angulo por su total apoyo y por brindarme la oportunidad de desarrollar esta investigación en un entorno real, lo cual fue fundamental para la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos.

Gracias a todos los que, de una u otra forma, formaron parte de este logro.

Dedicatoria

Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud a mi madre Rosa del Carmen, por ser siempre mi guía, mi fuerza y mi inspiración.

A mi familia por su constante apoyo y confianza en cada paso de este camino.

Y a Dios por brindarme la sabiduría, fortaleza y esperanza necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

ÍNDICE

RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.1 Introducción	13
1.2 Antecedentes (estado del arte)	15
1.3 Planteamiento del problema	19
1.4 Justificación	20
II. OBJETIVOS	22
2.1 Objetivo general	22
2.2 Objetivos específicos	22
III. HIPÓTESIS	23
IV. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	24
V. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	25
VI. MARCO TEÓRICO	26
6.1 Fundamentos teóricos de la gestión del mantenimiento	26
6.1.1 Evolución del mantenimiento y su transición hacia los servicios de perforación	27
6.1.2 Tipos de mantenimiento y su aplicación en el sector servicios	29
6.1.3 Mantenimiento Productivo Total (TPM) y su pertinencia en el sector servicios	30
6.1.4 Enfoque Lean aplicado al mantenimiento en el sector servicios	32
6.2 Metodología TPM (Total Productive Maintenance)	33
6.2.1 Origen y fundamentos del TPM (Nakajima, JIPM)	34
6.2.2 Objetivos del TPM: cero fallas, cero defectos, cero accidentes	36
6.2.3 Los 8 pilares del TPM:	37
6.2.3.1 Mantenimiento autónomo	38
6.2.3.2 Mantenimiento planificado	38
6.2.3.3 Mejora enfocada	39

6.2.3.4 Capacitación y entrenamiento	39
6.2.3.5 Gestión temprana de equipos	39
6.2.3.6 Mantenimiento de calidad	39
6.2.3.7 Seguridad, salud y medio ambiente	39
6.2.3.8 TPM en oficinas/servicios	40
6.2.4 Evidencias de impacto del TPM en la productividad y confiabilidad	40
6.3 Lean Manufacturing	41
6.3.1 Fundamentos y principios Lean (valor, flujo, pull, perfección).....	43
6.3.2 Los 7+1 desperdicios (muda) en procesos industriales y de servicios	44
6.3.2.1 Sobreproducción	44
6.3.2.2 Inventario.....	44
6.3.2.3 Movimiento	45
6.3.2.4 Esperas.....	45
6.3.2.5 Sobreprocesamiento	45
6.3.2.6 Defecto.....	45
6.3.2.7 Talento no utilizado.....	46
6.3.3 Herramientas Lean aplicables a mantenimiento:.....	47
6.3.3.1 5S	47
6.3.3.2 Kaizen	47
6.3.3.3 Kanban.....	47
6.3.3.4 SMED	48
6.3.3.5 Value Stream Mapping (VSM)	48
6.3.4 Sinergia entre Lean y TPM como sistema integral	49
6.4 Efectividad Global de los Equipos (OEE)	51
6.4.1 Definición de OEE y su relevancia en la medición de desempeño..	52
6.4.2 Componentes de OEE: disponibilidad, rendimiento y calidad	53
6.4.3 Indicadores asociados: MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time To Repair)	54

6.4.4 Aplicaciones del OEE en sectores de manufactura y servicios.....	56
6.5 Integración TPM-Lean.....	57
6.5.1 Modelos combinados de mejora continua	59
6.5.2 Beneficios de aplicar TPM y Lean en conjunto	60
6.5.3 Retos y limitaciones documentadas en la literatura.....	61
6.5.4 Casos de estudio de integración TPM-Lean en contextos industriales y de servicios	63
6.6 Revisión de estudios similares	64
6.6.1 Investigaciones recientes (2015-2025) sobre TPM en servicios y perforación	64
6.6.1.1 Implementación estratégica de TPM en manufactura CNC	64
6.6.1.2 Influencia de los pilares de TPM en la industria química...	65
6.6.1.3 Optimización de factores de OEE en la industria farmacéutica	65
6.6.1.4 Aplicación del TPM en equipos de perforación petrolera ..	65
6.6.1.5 Barreras y facilitadores en la implantación de TPM	66
6.6.2 Investigaciones recientes sobre Lean Manufacturing en mantenimiento	66
6.6.2.1 Implementación de prácticas de mantenimiento Lean en Facility Management.....	66
6.6.2.2 Aplicación de mantenimiento Lean en la industria azucarera.....	67
6.6.2.3 Integración de Lean Six Sigma con mantenimiento predictivo	67
6.6.2.4 Implementación de mantenimiento Lean en la construcción en Qatar	68
6.6.2.5 Efectividad del mantenimiento predictivo en la reducción de tiempos de inactividad	68
6.6.3 Aplicación combinada TPM-Lean en sectores energéticos y de servicios técnicos	69
6.6.3.1 Integración de TPM y Lean en el sector energético	69
6.6.3.2 Aplicación de TPM y Lean en terminales de petróleo	69

6.6.3.3 Impacto de la digitalización en la integración TPM-Lean...	69
6.6.3.4 Desafíos y barreras en la implementación combinada	70
6.6.3.5 Casos prácticos y resultados medibles	70
6.6.3.6 Estudios de mantenimiento industrial vinculados a la gestión de recursos hídricos y desarrollo regional	71
6.6.4 Identificación de brechas de conocimiento que justifican la investigación	72
6.7 Marco Conceptual	74
6.7.1 Definición de Mantenimiento Productivo Total (TPM)	74
6.7.2 Definición de Lean Manufacturing	76
6.7.3 Efectividad Global de los Equipos (OEE)	77
6.7.4 Mejora continua (Kaizen)	78
6.7.5 Productividad en servicios técnicos	80
6.7.6 Confiabilidad y disponibilidad	82
6.7.7 Concepto de Servicios industriales aplicado a perforación de pozos	83
6.7.8 Definiciones complementarias: calidad, eficiencia, eficacia	85
6.7.8.1 Calidad	85
6.7.8.2 Eficiencia	85
6.7.8.3 Eficacia	86
6.8 Sustentabilidad y Economía Circular en la Perforación de Pozos	86
6.8.1 Sustentabilidad como enfoque estratégico en los servicios de perforación	86
6.8.2 Enfoque tridimensional de la sustentabilidad en los servicios de perforación de pozos	87
6.8.2.1 Gestión ambiental operativa en los servicios de perforación de pozos	88
6.8.2.2 Sustentabilidad económica y eficiencia operativa en los servicios de perforación	89
6.8.2.3 Impacto social y desarrollo regional asociado a los servicios de perforación	90
6.8.3 Economía circular aplicada al mantenimiento industrial	90

6.8.4 Estrategias de eficiencia energética y gestión de residuos en el mantenimiento de servicios de perforación.....	92
6.8.4.1 Eficiencia energética como criterio de desempeño del mantenimiento	92
6.8.4.2 Reducción de residuos en mantenimiento	93
6.8.4.3 Integración de la eficiencia energética y la gestión de residuos en la sustentabilidad operativa	94
6.8.5 Normas y estándares internacionales aplicables a la sustentabilidad y al mantenimiento en servicios de perforación:.....	95
6.8.5.1 Norma ISO 14001 y su aplicación a la gestión ambiental en servicios de perforación	96
6.8.5.2 Norma ISO 50001 como marco para la eficiencia energética en el mantenimiento	96
6.8.5.3 Norma ISO 45001 y la gestión de la seguridad operativa en actividades de mantenimiento	97
6.8.6 Alineación de la gestión del mantenimiento y la sustentabilidad operativa con los Objetivos de Desarrollo Sostenible	99
6.8.6.1 ODS 9: Contribución del mantenimiento y la infraestructura de perforación: industria, innovación e infraestructura	99
6.8.6.2 ODS 12: Producción y consumo responsables desde la gestión del mantenimiento en servicios de perforación.....	100
6.8.6.3 ODS 13: Acción por el clima a través de la eficiencia operativa y energética en el mantenimiento	101
6.8.7 Modelos de integración TPM-Lean-Sustentabilidad en servicios de perforación	102
6.8.7.1 Componentes estructurales de los modelos integrados TPM-Lean-Sustentabilidad	102
6.8.7.2 Enfoques y modelos de integración TPM-Lean-Sustentabilidad	103
6.8.8 Evidencia documentada sobre la aplicación de TPM-Lean-Sustentabilidad en servicios de perforación	104
6.8.8.1 Aplicaciones documentadas de TPM y Lean en servicios técnicos de perforación	104

6.8.8.2 Integración de TPM y Lean con enfoques de sustentabilidad en servicios técnicos.....	105
6.8.8.3 Beneficios documentados de los modelos TPM-Lean-Sustentabilidad	105
6.8.9 Impactos documentados de la integración TPM-Lean-Sustentabilidad en el desempeño organizacional	107
6.8.9.1 Impactos documentados en la eficiencia energética	107
6.8.9.2 Impactos documentados en la reducción de la huella ambiental.....	108
6.8.9.3 Impactos documentados en la imagen y responsabilidad corporativa	108
6.8.10 Retos y oportunidades para la empresa Pozos Profundos Javier Angulo desde un enfoque estratégico	109
6.8.10.1 Retos operativos y de gestión del mantenimiento en empresas de servicios de perforación	109
6.8.10.2 Oportunidades de mejora mediante la integración TPM-Lean-Sustentabilidad.....	110
6.8.11 Marco Integrador: La Sinergia Lean-Green en el Sector Hídrico de Sinaloa	111
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	113
7.1 Área de estudio	113
7.2 Ubicación de la empresa	114
7.3 Tipo y enfoque de la investigación	115
7.4 Diseño de la Investigación	118
7.5 Variables a medir	119
7.6 Operacionalización de variables	120
7.7 Tamaño de muestra	122
7.8 Diseño experimental	122
7.9 Instrumento de recolección de datos	125
7.10 Análisis y procesamiento de la información	128
7.11 Metodología.....	128
7.11.1 Fase 1: Desarrollo de instrumento de evaluación y diagnóstico ..	129

7.11.2 Fase 2: Diseño del Sistema TPM-Lean Manufacturing	131
7.11.3 Fase 3: Implementación del Sistema TPM-Lean Manufacturing ..	135
7.11.4 Fase 4: Evaluación y validación estadística	137
VIII. RESULTADOS	139
8.1 Diagnóstico inicial de los equipos del área de servicio (Pre-test).....	139
8.1.1 Condiciones operativas iniciales	141
8.1.2 Caracterización operativa inicial del área de servicio	142
8.1.3 Disponibilidad inicial de los equipos	143
8.1.4 Tiempos muertos y frecuencia de fallas	144
8.1.5 Cálculo inicial del OEE.....	146
8.1.6 Indicadores MTBF y MTTR	147
8.1.7 Análisis de pérdidas operativas mediante enfoque Lean.....	148
8.1.8 Problemáticas ambientales observadas.....	149
8.2 Comparación de resultados pre-test y post-test	150
IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	153
9.1 Conclusiones	153
9.2 Recomendaciones	155
X. CRONOGRAMA.....	157
XI. REFERENCIAS	158
XII. ANEXOS	172

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: El mantenimiento estratégico impulsa la competitividad empresarial	31
Figura 2: Jerarquía de Objetivos del TPM.....	36
Figura 3: Fundamentos del Mantenimiento Productivo Total	38
Figura 4: Aplicaciones del OEE (Overall Equipment Effectiveness)	57
Figura 5: Implementación conjunta de TPM y Lean	61
Figura 6: Ishikawa de desafíos en la implementación de TPM y Lean	62
Figura 7: Integración de TPM y Lean	70
Figura 8: Desafíos de la Integración de TPM y Lean	74
Figura 9: Implementación de Kaizen.....	79
Figura 10: Dimensiones de Confiabilidad y Disponibilidad.....	82
Figura 11: Fundamentos de la Sustentabilidad	88
Figura 12: Principales Estándares ISO para la Sustentabilidad y Seguridad.....	95
Figura 13: Objetivos de Desarrollo Sostenible desde el enfoque interno hasta el externo	99
Figura 14: Ubicación	114
Figura 15: Revisión e inspección del compartimiento del motor de grúa hidráulica.....	129
Figura 16: Proceso de inspección técnica del sistema operativo de grúa hidráulica	130
Figura 17: Registro de observaciones técnicas durante la inspección de la unidad de servicio.	132
Figura 18: Instrumento de recopilación de datos aplicado durante la fase diagnóstica.	133
Figura 19: Metodología aplicada para el diagnóstico inicial	142
Figura 20: Metodología aplicada para el diagnóstico inicial	144
Figura 21: Diagrama de Pareto de fallas registradas durante el diagnóstico inicial	145
Figura 22: Representación gráfica de los componentes del OEE inicial.....	146
Figura 23: Comparación gráfica de MTBF y MTTR	147
Figura 24: Esquema de pérdidas operativas detectadas mediante enfoque Lean.....	148
Figura 25: Principales problemáticas ambientales identificadas	149
Figura 26: Comparación del OEE antes y después de la implementación del sistema TPM- Lean Manufacturing	151
Figura 27: Cronograma de actividades.....	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Enfoques de mantenimiento industrial	30
Tabla 2: Clasificación de los desperdicios (Muda) en Lean Manufacturing	46
Tabla 3: Herramientas de Lean Manufacturing y su propósito	49
Tabla 4: Componentes de OEE (Overall Equipment Effectiveness)	54
Tabla 5: Metodología integrada TPM-Lean-Sustentabilidad.....	121
Tabla 6: Efectividad Global de los Equipos (OEE)	121
Tabla 7: Impacto ambiental (manejo de residuos).....	121
Tabla 8: Impacto ambiental (manejo de residuos).....	140
Tabla 9: Caracterización inicial del sistema de mantenimiento	142
Tabla 10: Disponibilidad inicial de los equipos de servicio.....	143
Tabla 11: Registro inicial de tiempos muertos operativos	144
Tabla 12: Frecuencia de fallas registradas durante el diagnóstico inicial.....	145
Tabla 13: Cálculo inicial del OEE	146
Tabla 14: Indicadores de confiabilidad inicial	147
Tabla 15: Desperdicios Lean identificados en el área de servicio	148
Tabla 16: Diagnóstico ambiental inicial del área de servicio	149
Tabla 17: Comparación de los indicadores de desempeño operativo pre-test y post-test	150

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS DE DIAGNÓSTICO.....	172
Anexo 1. Diagnóstico inicial de las condiciones operativas y de mantenimiento del área de servicio Pozos Profundos Javier Angulo.....	172
Anexo 2. Check list de auditoría de 5'.....	172
Anexo 3. Formato de control y registro de actividades operativas y mantenimiento.....	173
Anexo 4. Informe de auditoría interna.....	173
Anexo 5. Matriz de indicadores.....	174
ANEXOS DE DISEÑO DEL SISTEMA TPM-LEAN.....	174
Anexo 6. Registro de proveedores.....	174
Anexo 7. Check list de elementos de protección personal.....	175
Anexo 8. Inspección, estado y uso de EPP.....	175
Anexo 9. Evaluación de riesgos (Actividades de soldadura).....	176
Anexo 10. Bitácora de revisión de equipos y elementos de seguridad.....	176
Anexo 11. Cálculo de emisiones.....	177
Anexo 12. Cálculo del consumo energético en términos de barriles equivalentes de petróleo.....	177
ANEXOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	178
Anexo 13. Inspección preoperacional equipo de oxicorte.....	178
Anexo 14. Inspección preoperacional de compresores portátiles.....	178
Anexo 15. Inspección preoperacional de cortadora.....	179
Anexo 16. Inspección preoperacional de pulidora.....	179
Anexo 17. Inspección preoperacional de plantas eléctricas.....	180
Anexo 18. Inspección preoperacional de motosierra.....	180
Anexo 19. Inspección preoperacional taller máquinas y herramientas.....	181
Anexo 20. Inspección preoperacional de herramientas menores.....	181

RESUMEN

Esta investigación integró la metodología Total Productive Maintenance (TPM) y los principios de Lean Manufacturing bajo un enfoque de sustentabilidad operativa para optimizar la efectividad de los equipos de servicio en la empresa Pozos Profundos Javier Angulo. Mediante un diagnóstico fundamentado en los ocho pilares del TPM, se diseñó e implementó un sistema de mantenimiento que redujo los tiempos de inactividad y optimizó el uso de recursos técnicos y energéticos. Los resultados revelaron un incremento del 10% en la efectividad global de los equipos (OEE), consolidando un modelo de excelencia operativa replicable que mitiga el impacto ambiental y fortalece la competitividad regional.

Palabras clave: TPM, Lean Manufacturing, mantenimiento, sustentabilidad, eficiencia operativa.

ABSTRACT

This research integrated Total Productive Maintenance (TPM) methodology and Lean Manufacturing principles under an operational sustainability approach to optimize the effectiveness of service teams at the Javier Angulo Deep Wells company. Through a diagnosis based on the eight pillars of TPM, a maintenance system was designed and implemented that reduced downtime and optimized the use of technical and energy resources. The results revealed a 10% increase in Overall Equipment Effectiveness (OEE), consolidating a replicable operational excellence model that mitigates environmental impact and strengthens regional competitiveness.

Keywords: TPM, Lean Manufacturing, maintenance, sustainability, operational efficiency.

I. INTRODUCCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

La eficiencia operativa en los servicios de perforación de pozos profundos constituye un elemento estratégico para garantizar la continuidad del suministro hídrico en regiones con alta dependencia del sector agroindustrial como el municipio de Salvador Alvarado, Sinaloa. La confiabilidad, disponibilidad y desempeño de los equipos empleados en las actividades de perforación representan factores críticos dado que los paros no programados y las fallas mecánicas generan retrasos operativos, incrementos en los costos de servicio y afectaciones indirectas al desarrollo económico regional (Moubray, 2004).

Las empresas dedicadas a la perforación de pozos operan bajo condiciones técnicas exigentes caracterizadas por altos niveles de carga mecánica, operación continua y exposición a entornos adversos. Cuando los procesos de mantenimiento no se encuentran debidamente estructurados estas condiciones propician una mayor recurrencia de fallas, prolongación de los tiempos muertos y una utilización ineficiente de los recursos materiales y humanos lo que limita la capacidad operativa de las organizaciones y reduce su competitividad (García Garrido, 2010).

En el caso específico de la empresa Pozos Profundos Javier Angulo se identifican problemas recurrentes de baja eficiencia operativa asociados a la inexistencia de un sistema formal de gestión del mantenimiento que permita planificar, ejecutar y controlar de manera sistemática las actividades de conservación de los equipos. Esta situación se manifiesta en un incremento de los paros no programados, una limitada estandarización de los procedimientos técnicos y una toma de decisiones basada principalmente en la atención reactiva de fallas (Nakajima, 1988).

La gestión ineficiente del mantenimiento no solo repercute en la rentabilidad operativa de la empresa sino que también incrementa los riesgos relacionados con la seguridad del personal, el consumo innecesario de energía y el uso inadecuado de insumos aspectos que adquieren una relevancia creciente en el marco de la

sustentabilidad y la responsabilidad social empresarial. En un sector directamente vinculado con la explotación y gestión del recurso hídrico estas deficiencias pueden generar impactos adversos a nivel ambiental y social (CEPAL, 2018).

La presente investigación aborda la baja eficiencia operativa en la perforación de pozos en Salvador Alvarado, Sinaloa, donde la ausencia de un sistema de gestión de mantenimiento impacta no solo la rentabilidad sino la seguridad hídrica regional. Ante este escenario se plantea la necesidad de diseñar e implementar un modelo integral de gestión del mantenimiento que permita mejorar la efectividad de los equipos, reducir las pérdidas operativas y fortalecer la confiabilidad de los procesos de servicio (Liker, 2004).

La investigación se orienta a la integración de la metodología de Mantenimiento Productivo Total (TPM) con los principios de Lean Manufacturing y un enfoque de sustentabilidad con el propósito de establecer un sistema de gestión que facilite la mejora continua, la eliminación de desperdicios y la evaluación objetiva del desempeño mediante indicadores como la Efectividad Global de los Equipos (OEE). A través de este enfoque se busca contribuir al fortalecimiento de la eficiencia operativa de la empresa Pozos Profundos Javier Angulo y generar evidencia aplicable a organizaciones de servicios especializados del sector hídrico.

1.2 Antecedentes (estado del arte)

La gestión del mantenimiento industrial ha evolucionado de manera significativa desde mediados del siglo XX como respuesta al incremento en la complejidad de los sistemas productivos. Durante la década de 1950 el mantenimiento se desarrollaba principalmente bajo un enfoque correctivo en el cual las intervenciones se realizaban después de la ocurrencia de fallas generando elevados tiempos de inactividad, altos costos operativos y una baja confiabilidad de los equipos (Mobley, 2002).

Entre las décadas de 1960 y 1970 surge el mantenimiento preventivo orientado a la programación sistemática de inspecciones y reemplazos. Este enfoque permitió mejorar la disponibilidad de los equipos sin embargo su aplicación sin criterios basados en la condición real de los activos ocasionó en muchos casos, intervenciones innecesarias y un incremento en los costos de mantenimiento (García Garrido, 2010).

A finales de la década de 1970 y durante los años 1980 se consolida en Japón el concepto de Mantenimiento Productivo Total (TPM) formalizado por el Japan Institute of Plant Maintenance. Este modelo introdujo un cambio significativo al promover la participación activa del personal operativo en el cuidado de los equipos enfocándose en la eliminación sistemática de pérdidas y en la mejora continua del desempeño productivo (Nakajima, 1988).

Durante las décadas de 1990 y 2000 la gestión del mantenimiento incorporó enfoques basados en la confiabilidad como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) así como el uso de indicadores de desempeño tales como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y la Efectividad Global de los Equipos (OEE) los cuales permitieron una evaluación cuantitativa y objetiva del desempeño de los activos (Moubray, 2004).

En los años recientes (2015-2025) la gestión del mantenimiento ha evolucionado hacia modelos integrados combinando los principios del TPM y Lean Manufacturing con un enfoque de sustentabilidad. Esta integración busca no solo la eliminación de desperdicios y la optimización de los procesos operativos sino también la eficiencia energética, la reducción del impacto ambiental y la prolongación del ciclo de vida de los equipos alineando la gestión técnica con criterios de responsabilidad social y ambiental (Socconini, 2019).

A nivel nacional e internacional diferentes estudios han demostrado la efectividad de la metodología TPM (Mantenimiento Productivo Total) como una herramienta integral para mejorar los procesos industriales y fortalecer la competitividad organizacional (Nakajima, 1988).

Internacional

A nivel internacional diferentes estudios han demostrado la efectividad de la metodología TPM (Mantenimiento Productivo Total) como una herramienta integral para mejorar los procesos industriales.

Por ejemplo Cabrera (2018) implementó un programa basado en TPM en el área de peletizado de la empresa avícola El Rocío S.A. en Perú, logrando una significativa reducción en los costos operativos, así como una mejora en la eficiencia y productividad general.

Del mismo modo Vega (2017) desarrolló un estudio sobre el mantenimiento preventivo en la empresa Grúas América S.A.C. también en Perú con el objetivo de incrementar la disponibilidad de la maquinaria. Los resultados reflejaron una mejora sustancial en la confiabilidad de los equipos, una reducción en los fallos mecánicos y una prolongación de su vida útil con un enfoque basado en los principios del TPM.

Adicionalmente la investigación realizada por Desposorio Pulido y Rosario Ulco (2017) en la empresa Camposol S.A. ubicada en Perú destaca la aplicación de

herramientas TPM en el taller de mantenimiento agrícola donde se logró disminuir los costos operativos mediante una mejor planificación y control del mantenimiento. Este estudio reafirma que la implementación estructurada del TPM no solo reduce gastos sino que incrementa la eficiencia global del sistema productivo.

Nacional

En el contexto nacional también se han desarrollado investigaciones relevantes sobre la implementación de TPM y estrategias de mantenimiento.

Por ejemplo De la Vega Rodríguez (2020) identificó los factores críticos de éxito en la implementación de lean manufacturing en empresas mexicanas del sector de fabricación de equipos de transporte destacando la importancia de la mejora continua en los procesos industriales.

Igualmente Hernández Palacios (2013) evaluó cómo la estrategia de lean manufacturing ha influido en el desempeño productivo de empresas manufactureras en el Estado de México concluyendo que estas herramientas favorecen la eficiencia operativa y competitividad.

Por su parte Mendoza Espinoza (2018) analizó la implementación del Mantenimiento Productivo Total en una empresa de manufactura enfocándose en garantizar la disponibilidad operativa del equipo y en establecer un sistema estructurado de mantenimiento preventivo.

Estos estudios reafirman que la implementación estructurada del TPM y Lean Manufacturing no solo reduce gastos sino que incrementa la eficiencia global del sistema productivo (De la Vega Rodríguez, 2020).

Esta evolución adquiere una relevancia particular ya que la confiabilidad de los equipos impacta directamente en la continuidad del servicio, la rentabilidad operativa y la seguridad hídrica regional. La adopción de modelos integrados de gestión del mantenimiento se presenta como una alternativa pertinente para mejorar

la eficiencia operativa en empresas de servicios especializados como Pozos Profundos Javier Angulo (CEPAL, 2018).

1.3 Planteamiento del problema

En el sector de las perforaciones de pozos la eficiencia y la efectividad de los equipos del área de servicio desempeñan un papel crucial para el éxito operativo y económico de las empresas.

En este contexto se ha identificado la necesidad de abordar los desafíos asociados con la gestión y operación de estos equipos con el objetivo de mejorar su desempeño general. En este sentido surge la pregunta de investigación: ¿De qué manera la implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing y la integración de prácticas sustentables pueden incrementar la efectividad general de los equipos del área de servicio en el sector de las perforaciones de pozos?

1.4 Justificación

La presente investigación se justifica desde una perspectiva técnica, económica, ambiental y social al abordar una problemática real vinculada a la baja eficiencia operativa de los equipos utilizados en la perforación de pozos profundos en la empresa Pozos Profundos Javier Angulo ubicada en Salvador Alvarado, Sinaloa. La ausencia de un sistema estructurado de gestión del mantenimiento ha generado paros no programados, uso ineficiente de los recursos y una limitada capacidad para evaluar el desempeño de los equipos lo que afecta directamente la productividad y competitividad de la organización.

Desde el punto de vista técnico la investigación resulta pertinente al proponer la implementación de un modelo de gestión basado en la integración de la metodología de Mantenimiento Productivo Total (TPM) y los principios de Lean Manufacturing, orientado a mejorar la confiabilidad, disponibilidad y desempeño de los equipos. Este enfoque permite identificar y eliminar pérdidas operativas, estandarizar los procesos de mantenimiento y fortalecer la participación del personal operativo en el cuidado de los activos, contribuyendo a la mejora continua del desempeño técnico de la empresa.

En el ámbito económico la mejora de la eficiencia operativa derivada de la implementación del modelo TPM-Lean favorece la reducción de costos asociados a fallas no previstas, tiempos muertos y uso inadecuado de refacciones y recursos energéticos. Al optimizar la planeación y ejecución de las actividades de mantenimiento la empresa puede incrementar su capacidad de respuesta, mejorar la utilización de sus equipos y fortalecer su rentabilidad operativa, aspectos clave para su sostenibilidad financiera.

La justificación ambiental de la investigación se sustenta en la integración de prácticas de sustentabilidad dentro de la gestión del mantenimiento. La implementación trasciende la eficiencia mecánica al optimizar la Efectividad Global

de los Equipos (OEE) se reduce el consumo energético por metro perforado y se institucionaliza el control de lodos y aceites alineando la operación con la meta 12.5 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Desde la perspectiva social la investigación adquiere relevancia al contribuir indirectamente a la seguridad hídrica regional dado que la confiabilidad de los equipos de perforación incide en la continuidad del suministro de agua para actividades agrícolas, productivas y de consumo humano. La mejora en la gestión del mantenimiento fortalece las condiciones de seguridad del personal operativo al reducir la probabilidad de fallas críticas y promover una cultura organizacional orientada a la prevención y la mejora continua.

La investigación se justifica desde el ámbito académico y científico al generar evidencia empírica sobre la aplicación de un modelo integrado TPM-Lean con enfoque sustentable en una empresa de servicios especializados del sector hídrico, contexto poco documentado en la literatura nacional. Los resultados obtenidos podrán servir como referencia metodológica para futuras investigaciones y como guía práctica para organizaciones que enfrentan problemáticas similares en la gestión del mantenimiento y la eficiencia operativa.

Finalmente este trabajo ofrece un marco de referencia (framework) replicable para otras organizaciones del sector servicios en el estado. La metodología propuesta demuestra que es posible adaptar herramientas de manufactura de clase mundial (Lean y TPM) a contextos de servicios de campo cerrando la brecha entre la teoría académica y la praxis industrial en el ámbito del desarrollo regional.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Implementar un modelo de gestión operativa basado en la integración de las metodologías TPM, Lean Manufacturing y criterios de sustentabilidad, con el fin de incrementar la efectividad global de los equipos (OEE) en el área de servicio de la empresa Pozos Profundos Javier Angulo, promoviendo la eficiencia tecnológica y la responsabilidad ambiental en la región.

2.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar el estado técnico y operativo actual de la maquinaria mediante el cálculo del indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) y la identificación de impactos ambientales críticos en los procesos de perforación.
2. Diseñar un sistema integral de mantenimiento y seguridad que fusione los pilares del TPM con herramientas de eliminación de desperdicios Lean, integrando protocolos de gestión de residuos y eficiencia energética.
3. Ejecutar el plan de mantenimiento autónomo y preventivo en el equipo de servicio, mediante la capacitación técnica del personal y la estandarización de procesos operativos sustentables.
4. Evaluar el impacto de la implementación a través del análisis comparativo de la productividad y la validación de los indicadores de sustentabilidad, para determinar la viabilidad del modelo como referente de desarrollo tecnológico regional.

III. HIPÓTESIS

La implementación exitosa de la metodología TPM-Lean Manufacturing ayudará a mejorar en un 10% la efectividad de los equipos del área de servicio incrementando la eficiencia general, y con ello se generará mejoras en la eficiencia operativa y la sustentabilidad, resultando en beneficios técnicos, económicos, sociales y ambientales sostenibles para la empresa.

IV. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se delimitó al área de servicio de la empresa Pozos Profundos Javier Angulo, enfocándose específicamente en los equipos utilizados para las actividades de perforación y mantenimiento de pozos profundos. El estudio comprendió el diagnóstico del estado técnico y operativo de la maquinaria, el diseño del sistema TPM-Lean Manufacturing con enfoque de sustentabilidad y la implementación de acciones de mantenimiento autónomo y preventivo.

El alcance de la investigación incluyó la evaluación de la Efectividad Global de los Equipos (OEE) como indicador principal de desempeño, así como el análisis de prácticas asociadas a la seguridad operativa, la gestión ambiental y la eficiencia energética. Se consideró la capacitación del personal operativo como un elemento clave para la correcta ejecución del modelo de gestión propuesto.

V. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Entre las principales limitaciones de la investigación se identificó la disponibilidad de tiempo y recursos para la capacitación del personal operativo, así como la resistencia inicial al cambio organizacional asociada a la adopción de nuevas metodologías de mantenimiento y prácticas sustentables.

La integración de herramientas propias de Lean Manufacturing, como las 5S y la estandarización de procesos, requirió un proceso gradual de adaptación que pudo influir en el ritmo de implementación del modelo TPM-Lean. Otra limitación estuvo relacionada con la dependencia de la información histórica disponible sobre fallas y mantenimiento de los equipos, la cual en algunos casos presentó inconsistencias o registros incompletos.

VI. MARCO TEÓRICO

6.1 Fundamentos teóricos de la gestión del mantenimiento

La gestión del mantenimiento ha evolucionado significativamente desde la Revolución Industrial cuando el mantenimiento era principalmente correctivo y reactivo. En aquella época las máquinas se reparaban únicamente después de una falla sin planificación ni registros sistemáticos.

Este enfoque resultaba ineficiente generando altos costos operativos y paradas prolongadas lo que impulsó la necesidad de desarrollar estrategias más estructuradas de mantenimiento (Mobley, 2002b).

En la primera mitad del siglo XX surgieron conceptos de mantenimiento preventivo basados en inspecciones periódicas y reemplazos programados de componentes críticos. Esta estrategia permitió reducir las fallas inesperadas y prolongar la vida útil de los equipos sentando las bases para modelos más sofisticados de gestión del mantenimiento. Empresas líderes comenzaron a registrar datos de fallas y tiempos de operación estableciendo indicadores iniciales de desempeño de los equipos (Nakajima, 1988).

Durante las décadas de 1970 y 1980 el enfoque evolucionó hacia el mantenimiento productivo total (TPM) y la integración de técnicas de confiabilidad. TPM desarrollado por Nakajima en Japón promovió la participación de todo el personal en el cuidado de los equipos y estableció pilares de mantenimiento autónomo planificado y de mejora continua.

Esta filosofía transformó el mantenimiento de una función puramente técnica a una estrategia integral vinculada directamente con la eficiencia y competitividad de la organización (Nakajima, 1988; Liker, 2004).

La adopción de metodologías Lean Manufacturing en la industria especialmente en Japón y posteriormente en empresas occidentales influyó en la gestión del mantenimiento al enfatizar la eliminación de desperdicios y la optimización de procesos. La combinación de Lean y TPM permitió establecer un mantenimiento más eficiente reduciendo tiempos de parada mejorando la disponibilidad de los equipos y aumentando la productividad de manera sostenible (García & Martínez, 2021).

En las últimas décadas la gestión del mantenimiento ha incorporado herramientas tecnológicas avanzadas como mantenimiento predictivo basado en monitoreo de condición y análisis de datos junto con indicadores de desempeño como OEE, MTBF y MTTR. Estas innovaciones permiten una toma de decisiones más precisa orientada a la confiabilidad y eficiencia de los activos consolidando la evolución histórica del mantenimiento desde un enfoque reactivo hasta uno proactivo y estratégico (Bamber et al., 2019).

6.1.1 Evolución del mantenimiento y su transición hacia los servicios de perforación

El mantenimiento industrial surge inicialmente como una actividad de carácter correctivo aplicada únicamente después de que ocurría una falla en los equipos lo que generaba elevados tiempos de inactividad y pérdidas de productividad. Este enfoque reactivo predominó durante los primeros procesos de mecanización industrial y se caracterizó por la ausencia de planeación formal y por el uso empírico del conocimiento operativo situación que limitaba la confiabilidad de los sistemas productivos y aumentaba los costos asociados a paros no programados (García Garrido, 2010; Cárcel-Carrasco, 2016a).

Con el incremento en la complejidad de los sistemas técnicos y la necesidad de garantizar continuidad operativa, el mantenimiento evolucionó hacia enfoques preventivos y posteriormente hacia modelos basados en la confiabilidad. Esta

transición permitió incorporar la planeación, el análisis de fallas y la gestión sistemática de activos físicos como elementos centrales para mejorar la disponibilidad y el desempeño de los equipos desplazando al mantenimiento de una función meramente operativa a una actividad estratégica dentro de las organizaciones (Mobley, 2002b; Moubray, 2004).

Esta evolución adquiere una relevancia particular ya que la interrupción de los equipos no solo afecta procesos internos sino la prestación continua de servicios esenciales. La transición del mantenimiento correctivo al proactivo ha redefinido la disponibilidad mecánica como un activo estratégico debido a su impacto directo en la continuidad del suministro hídrico y en el desarrollo de actividades productivas a nivel regional. A diferencia del entorno manufacturero estos servicios operan bajo condiciones variables que incrementan la criticidad del mantenimiento estructurado (International Organization for Standardization [ISO], 2014; Moubray, 2004).

La evolución del mantenimiento en los servicios de perforación se ha orientado a minimizar fallas no programadas, reducir tiempos muertos y asegurar la confiabilidad de equipos especializados como perforadoras y sistemas de bombeo. Diversos estudios en infraestructura hidráulica han demostrado que una gestión deficiente del mantenimiento genera pérdidas de eficiencia operativa y afecta la disponibilidad del recurso hídrico confirmando que la conservación técnica de los sistemas es un factor determinante para la sostenibilidad del servicio y la productividad regional (Amendola, 2006; Reyes Martínez & Castro Ramírez, 2023).

El mantenimiento en los servicios de perforación deja de concebirse como una actividad de soporte y se posiciona como un componente estratégico de la gestión operativa al vincular la eficiencia técnica de los equipos con la sustentabilidad del recurso hídrico y el desarrollo regional. La adopción de enfoques estructurados de mantenimiento permite fortalecer la confiabilidad de la infraestructura, reducir riesgos operativos y contribuir a un uso más eficiente del agua, elemento clave para

el bienestar social y económico de las regiones (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020; Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

6.1.2 Tipos de mantenimiento y su aplicación en el sector servicios

El mantenimiento industrial se clasifica tradicionalmente en correctivo, preventivo y predictivo de acuerdo con el momento y la forma en que se intervienen los equipos. El mantenimiento correctivo se caracteriza por ejecutarse una vez ocurrida la falla lo que en entornos de servicios genera altos costos operativos y afecta la continuidad del servicio especialmente cuando se trata de equipos críticos cuya indisponibilidad impacta directamente a usuarios finales y actividades productivas dependientes del recurso hídrico (García Garrido, 2010; Cárcel-Carrasco, 2016b).

Ante estas limitaciones el mantenimiento preventivo surge como una estrategia orientada a reducir la probabilidad de fallas mediante intervenciones programadas basadas en el tiempo o en el uso de los equipos. Este tipo de mantenimiento permite mejorar la disponibilidad operativa y planificar los recursos técnicos sin embargo su efectividad depende de una adecuada identificación de los componentes críticos y de la disciplina en la ejecución de las actividades ya que una programación inadecuada puede generar paros innecesarios o sobrecostos (Mobley, 2002b; García Garrido, 2010).

El mantenimiento predictivo incorpora el monitoreo de condiciones operativas para anticipar fallas antes de que estas se manifiesten utilizando técnicas como el análisis de vibraciones, termografía y control de parámetros operativos. En servicios de perforación de pozos resulta especialmente relevante debido a la operación continua de equipos en condiciones variables ya que permite reducir fallas catastróficas, optimizar el uso de refacciones y mejorar la confiabilidad de la maquinaria especializada (Amendola, 2006; Mobley, 2002b).

La aplicación combinada de estos tipos de mantenimiento bajo un enfoque sistemático de gestión permite transitar hacia esquemas más integrales orientados a la confiabilidad y la mejora continua. Esta integración es fundamental para asegurar la continuidad operativa, reducir riesgos técnicos y fortalecer la eficiencia del servicio lo que resulta congruente con modelos de gestión de activos que consideran la disponibilidad y el desempeño de los equipos como elementos estratégicos para la sostenibilidad organizacional y territorial (Moubray, 2004; International Organization for Standardization [ISO], 2014).

Tabla 1: Enfoques de mantenimiento industrial

Enfoques de mantenimiento industrial				
Tipo de mantenimiento	Concepto	Ventajas	Desventajas	Ejemplos
Correctivo	Reparaciones solo cuando ocurre una falla, sin planificación. Enfoque reactivo.	Útil para equipos de baja criticidad; simplicidad de ejecución.	Altos costos por paradas imprevistas, pérdida de producción, deterioro acelerado de activos.	Reparación de una máquina de inyección de plástico cuando presenta una falla.
Preventivo	Intervenciones planificadas periódicamente según tiempo o uso del equipo.	Reduce riesgos de interrupción, permite programar recursos, ampliamente difundido en la industria.	Puede generar intervenciones innecesarias si el equipo aún está en buen estado.	Inspección y lubricación periódica de vehículos de flota.
Predictivo	Monitoreo de condición y técnicas de diagnóstico (vibraciones, ultrasonido, termografía) para detectar fallas incipientes.	Optimiza costos, mejora confiabilidad, intervenciones basadas en datos técnicos.	Requiere inversión en tecnología y personal capacitado.	Monitoreo de temperatura en transformadores eléctricos para identificar sobrecalentamientos.
Proactivo	Identifica y elimina causas raíz de fallas, con mejoras de diseño, ajustes de procedimientos y formación del personal.	Extiende la vida útil de activos, reduce intervenciones correctivas y predictivas.	Requiere análisis profundo, cambios en procesos y capacitación continua.	Implementación de análisis de causa raíz para reducir fallas recurrentes en líneas de producción.

Fuente: *Elaboración propia*

6.1.3 Mantenimiento Productivo Total (TPM) y su pertinencia en el sector servicios

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) surge como un enfoque integral orientado a maximizar la efectividad de los equipos mediante la participación activa del personal operativo y de mantenimiento. El TPM no se limita a la corrección de fallas sino que promueve la eliminación sistemática de pérdidas, la estandarización de procesos y la mejora continua posicionando al equipo humano como un elemento

central para garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los activos físicos (Nakajima, 1988; García Garrido, 2010).

La aplicación del TPM adquiere una relevancia particular debido a que la disponibilidad de los equipos está directamente asociada a la continuidad del servicio. La implementación del TPM permite reducir fallas recurrentes, mejorar las condiciones operativas de la maquinaria y fortalecer la disciplina en la ejecución del mantenimiento autónomo lo que contribuye a incrementar la confiabilidad de los equipos en entornos de operación variables y de alta exigencia técnica (Nakajima, 1988; Moubray, 2004).

Uno de los aportes más relevantes del TPM es la incorporación del concepto de mantenimiento autónomo mediante el cual los operadores asumen responsabilidades básicas de inspección, limpieza y detección temprana de anomalías. Esta práctica resulta especialmente valiosa ya que permite identificar fallas incipientes en campo, reducir tiempos de respuesta y evitar paros no programados que pueden afectar el suministro de agua y las actividades productivas asociadas al desarrollo regional (García Garrido, 2010; International Organization for Standardization [ISO], 2014).

El TPM se apoya en indicadores de desempeño que permiten evaluar la efectividad real de los equipos integrando variables como

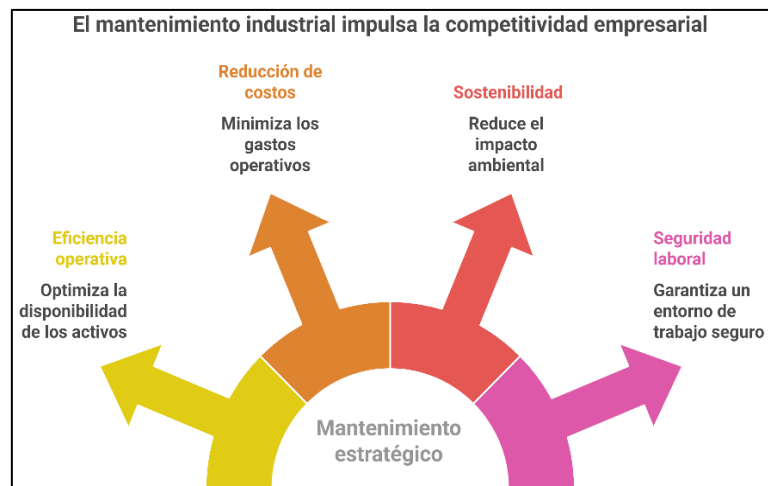


Figura 1: El mantenimiento estratégico impulsa la competitividad empresarial

Fuente: Elaboración propia

disponibilidad, rendimiento y calidad. El uso sistemático de estos indicadores facilita la toma de decisiones orientadas a la mejora continua y a la optimización de los recursos técnicos alineando la gestión del mantenimiento con objetivos estratégicos de eficiencia operativa y sostenibilidad del servicio (Nakajima, 1988; Amendola, 2006).

La adopción del TPM en el sector servicios representa una herramienta estratégica para fortalecer la gestión del mantenimiento al promover una cultura organizacional orientada a la prevención de fallas, la mejora continua y el aprovechamiento eficiente de los activos. Su aplicación en servicios de perforación de pozos permite vincular la efectividad de los equipos con la confiabilidad del servicio y el uso responsable del recurso hídrico contribuyendo de manera indirecta al desarrollo regional (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018; International Organization for Standardization [ISO], 2014).

6.1.4 Enfoque Lean aplicado al mantenimiento en el sector servicios

El enfoque Lean surge como una filosofía de gestión orientada a la eliminación sistemática de desperdicios y a la maximización del valor para el cliente mediante la mejora continua de los procesos. Lean permite identificar actividades que no agregan valor tales como tiempos muertos, reprocesos y desplazamientos innecesarios lo que contribuye a mejorar la eficiencia operativa y a optimizar el uso de los recursos técnicos disponibles (Womack, J. P. et al., 2005; García Garrido, 2010).

La aplicación del enfoque Lean al mantenimiento adquiere una relevancia particular debido a que la eficiencia de los procesos está directamente vinculada con la continuidad y calidad del servicio. La identificación y reducción de desperdicios asociados a paros no programados, esperas por refacciones o deficiencias en la planeación del mantenimiento permite mejorar la disponibilidad de los equipos y

reducir los costos operativos impactando de manera positiva en la prestación del servicio (Socconini, 2019; Womack, J. P. et al., 2005).

La integración de herramientas Lean como la estandarización del trabajo, el mapeo de la cadena de valor y la mejora continua facilita la sistematización de las actividades de mantenimiento y promueve una mayor disciplina operativa. Estas herramientas contribuyen a reducir la variabilidad de los procesos y a fortalecer la confiabilidad de los equipos lo que resulta fundamental para operaciones que dependen de la disponibilidad constante de maquinaria crítica (Socconini, 2019; García Garrido, 2010).

Desde una perspectiva estratégica el enfoque Lean aplicado al mantenimiento permite alinear la gestión operativa con objetivos de eficiencia, calidad y sostenibilidad. Esta alineación favorece un uso más eficiente de los recursos técnicos y energéticos, reduce desperdicios asociados a fallas recurrentes y contribuye a la continuidad del servicio de abastecimiento de agua, elemento clave para el desarrollo regional y la estabilidad de las actividades productivas (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018; Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020).

6.2 Metodología TPM (Total Productive Maintenance)

La metodología TPM (Total Productive Maintenance) surge en Japón en la década de 1970 con el objetivo de mejorar la eficiencia global de los equipos mediante la participación activa de todos los niveles de la organización. TPM se centra en maximizar la disponibilidad de los activos eliminando fallas, defectos y accidentes e integrando el mantenimiento como parte del proceso productivo no como una función aislada (Nakajima, 1988).

TPM se fundamenta en ocho pilares cada uno con un enfoque específico: mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, mejora enfocada,

capacitación y entrenamiento, gestión temprana de equipos, mantenimiento de calidad, seguridad y salud ocupacional, y TPM en oficinas o servicios. Estos pilares buscan involucrar al personal operativo en el cuidado de los equipos, planificar las actividades de mantenimiento y promover la mejora continua de los procesos (Liker, 2004).

El mantenimiento autónomo implica que los operadores sean responsables del mantenimiento básico de sus equipos como limpieza, lubricación e inspección. Esto permite detectar problemas de manera temprana, prevenir fallas y liberar al personal especializado para tareas más complejas. El mantenimiento planificado asegura la ejecución programada de tareas preventivas y predictivas optimizando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos (García & Martínez, 2021).

Otro aspecto central de TPM es la mejora enfocada que busca identificar y eliminar las pérdidas significativas de eficiencia mediante análisis de causa raíz y acciones correctivas. Esta práctica se complementa con la capacitación y entrenamiento del personal garantizando que todos comprendan la importancia del mantenimiento y puedan contribuir activamente a la eficiencia operativa y la seguridad en el trabajo (Imai, 2012).

La metodología TPM promueve la integración con otras estrategias de mejora como Lean Manufacturing para maximizar la productividad y confiabilidad de los procesos. La combinación de ambos enfoques permite eliminar desperdicios, optimizar el flujo de trabajo, reducir tiempos de inactividad y mejorar la calidad del producto generando beneficios sostenibles para la organización (Nakajima, 1988; Liker, 2004).

6.2.1 Origen y fundamentos del TPM (Nakajima, JIPM)

El concepto de Mantenimiento Productivo Total (TPM) tiene sus raíces en la industria japonesa de la década de 1950. Inicialmente las empresas japonesas adoptaron prácticas de mantenimiento preventivo y correctivo para mejorar la

eficiencia operativa. Sin embargo estas prácticas no eran suficientes para alcanzar los niveles de productividad deseados. Fue entonces cuando se reconoció la necesidad de involucrar a todo el personal en las actividades de mantenimiento no solo al departamento de mantenimiento sino también a los operadores de las máquinas para lograr una mejora continua en la eficiencia global de los equipos (Nakajima, 1988).

En 1971 el Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM) formalizó el concepto de TPM registrando la marca y estableciendo un marco metodológico claro. Este enfoque integrador buscaba eliminar las pérdidas en los procesos productivos tales como paros no planificados, defectos de calidad y accidentes mediante la participación activa de todos los empleados en el mantenimiento de los equipos. La metodología TPM se basa en la idea de que la mejora continua solo es posible cuando todos los miembros de la organización están comprometidos con el mantenimiento y la mejora de los equipos (JIPM, 1971).

Los fundamentos del TPM se estructuran en ocho pilares fundamentales: 1) Mantenimiento autónomo, 2) Mantenimiento planificado, 3) Mejora enfocada, 4) Educación y entrenamiento, 5) Gestión de la calidad, 6) Gestión de seguridad, salud y medio ambiente, 7) Gestión de equipos nuevos y 8) Gestión de la administración.

Estos pilares buscan no solo mejorar la eficiencia de los equipos sino también fomentar una cultura organizacional de responsabilidad compartida y mejora continua. Cada pilar aborda un aspecto específico del mantenimiento y la operación asegurando que todos los niveles de la organización estén involucrados en el proceso de mejora (Nakajima, 1988).

El impacto de la implementación del TPM ha sido significativo en diversas industrias. Empresas que han adoptado esta metodología han reportado mejoras en la disponibilidad de los equipos reducción de costos operativos, aumento de la calidad del producto y un ambiente de trabajo más seguro. El TPM ha contribuido al

desarrollo de una cultura organizacional basada en la colaboración y el compromiso de todos los empleados con los objetivos de la empresa (JIPM, 1971).

El Mantenimiento Productivo Total es una filosofía de mantenimiento que trasciende las prácticas tradicionales al involucrar a todos los miembros de la organización en el proceso de mejora continua. Su origen en la industria japonesa y su evolución a través de los años han demostrado su efectividad en la mejora de la eficiencia operativa y la competitividad empresarial. La implementación exitosa del TPM requiere un compromiso a nivel organizacional y una cultura de mejora continua que involucre a todos los empleados en las actividades de mantenimiento y mejora (Nakajima, 1988).

6.2.2 Objetivos del TPM: cero fallas, cero defectos, cero accidentes

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una filosofía de mantenimiento originaria de Japón que busca maximizar la efectividad de los equipos mediante la participación activa de todos los empleados.

Uno de sus objetivos fundamentales es lograr cero fallas lo que implica eliminar las paradas no planificadas y mejorar la disponibilidad de los equipos. Este objetivo se alcanza mediante la implementación de un mantenimiento preventivo y predictivo que permita anticipar y corregir posibles fallas antes de que ocurran (Nakajima, 1988).

El segundo objetivo del TPM es cero defectos que se refiere a la

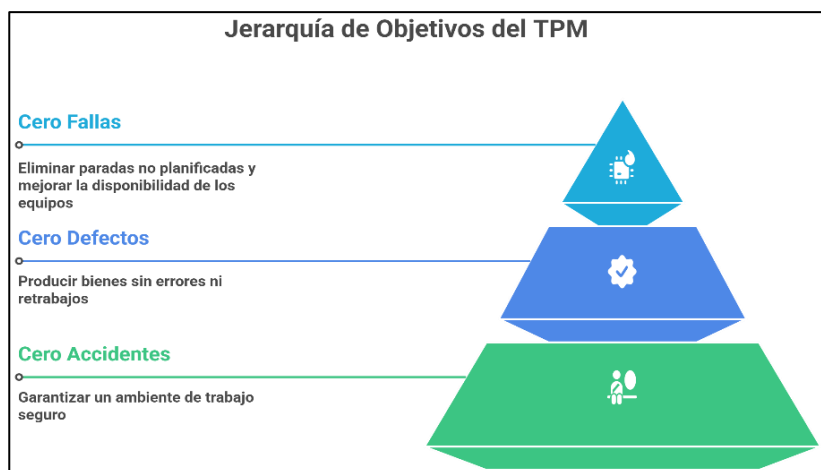


Figura 2: Jerarquía de Objetivos del TPM

Fuente: *Elaboración propia*

producción de bienes sin errores ni retrabajos. Para lograrlo es esencial establecer estándares de calidad rigurosos y capacitar a los operadores para que puedan identificar y corregir problemas en el proceso de producción. Esta meta no solo mejora la calidad del producto final sino que también reduce los costos asociados a desperdicios y retrabajos (Shingo, 1986).

El tercer objetivo es cero accidentes que busca garantizar un ambiente de trabajo seguro para todos los empleados. Esto se logra mediante la identificación y eliminación de riesgos potenciales, la implementación de prácticas de trabajo seguras y la promoción de una cultura de seguridad en toda la organización. La seguridad laboral es un componente esencial del TPM ya que un entorno de trabajo seguro contribuye a la eficiencia operativa y al bienestar de los empleados (JIPM, 1971).

Estos tres objetivos están interrelacionados y son fundamentales para la implementación exitosa del TPM. Al alcanzar cero fallas, cero defectos y cero accidentes las empresas pueden mejorar significativamente su eficiencia operativa, reducir costos y aumentar la satisfacción del cliente. Además estos objetivos fomentan una cultura organizacional basada en la mejora continua y la responsabilidad compartida (Nakajima, 1988).

Los objetivos del TPM: cero fallas, cero defectos y cero accidentes son esenciales para mejorar la competitividad y sostenibilidad de las empresas. La implementación de estas metas requiere un compromiso a nivel organizacional, la participación activa de todos los empleados y una estrategia de mantenimiento proactiva y preventiva que se enfoque en la mejora continua y la eliminación de pérdidas en los procesos productivos (Shingo, 1986).

6.2.3 Los 8 pilares del TPM:

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una filosofía de mantenimiento originaria de Japón que busca maximizar la efectividad de los equipos mediante la

participación activa de todos los empleados. Esta metodología se basa en ocho pilares fundamentales que abarcan diferentes aspectos del mantenimiento y la mejora continua en la organización (JIPM, 1971).



Figura 3: Fundamentos del Mantenimiento Productivo Total

Fuente: *Elaboración propia*

6.2.3.1 Mantenimiento autónomo

Este pilar implica que los operadores de las máquinas asuman responsabilidades básicas de mantenimiento como limpieza, lubricación e inspección. Al involucrar a los operadores en el cuidado diario de los equipos se busca detectar y corregir problemas antes de que se conviertan en fallas mayores mejorando así la eficiencia y reduciendo tiempos de inactividad (Nakajima, 1988).

6.2.3.2 Mantenimiento planificado

Consiste en la programación sistemática de actividades de mantenimiento preventivo y predictivo basadas en las necesidades específicas de cada equipo. Este enfoque permite anticipar posibles fallas y realizar intervenciones en

momentos óptimos minimizando paradas no planificadas y extendiendo la vida útil de los activos (JIPM, 1971).

6.2.3.3 Mejora enfocada

Se refiere a la identificación y eliminación de las causas raíz de los problemas que afectan la eficiencia de los equipos. Mediante equipos multifuncionales se analizan y abordan problemas específicos implementando soluciones que contribuyan a la mejora continua y a la reducción de pérdidas (JIPM, 1971).

6.2.3.4 Capacitación y entrenamiento

Este pilar destaca la importancia de desarrollar las habilidades y conocimientos del personal en todos los niveles de la organización. A través de programas de formación se busca que los empleados comprendan los principios del TPM y adquieran competencias técnicas y operativas que les permitan contribuir efectivamente al mantenimiento y mejora de los equipos (Nakajima, 1988).

6.2.3.5 Gestión temprana de equipos

Implica la integración de consideraciones de mantenimiento desde las etapas de diseño y adquisición de nuevos equipos. Al seleccionar y diseñar equipos con facilidad de mantenimiento en mente se facilita su operación y mantenimiento reduciendo costos y mejorando la eficiencia a largo plazo (JIPM, 1971).

6.2.3.6 Mantenimiento de calidad

Este pilar se centra en la prevención de defectos en los productos mediante el mantenimiento adecuado de los equipos. Al asegurar que los equipos funcionen correctamente se minimizan las variaciones en el proceso de producción lo que contribuye a la fabricación de productos de alta calidad y a la satisfacción del cliente (Nakajima, 1988).

6.2.3.7 Seguridad, salud y medio ambiente

El TPM promueve la creación de un entorno de trabajo seguro y saludable donde se minimicen los riesgos para los empleados y se cumpla con las normativas

ambientales. Este enfoque no solo protege a los trabajadores sino que también mejora la eficiencia operativa y la imagen corporativa de la organización (JIPM, 1971).

6.2.3.8 TPM en oficinas/servicios

Reconoce que las actividades administrativas y de soporte también impactan en la eficiencia global de la organización. Al aplicar los principios del TPM en estas áreas se busca optimizar procesos, reducir tiempos de espera y mejorar la comunicación y coordinación entre departamentos contribuyendo así a la mejora continua en toda la empresa (Nakajima, 1988).

6.2.4 Evidencias de impacto del TPM en la productividad y confiabilidad

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) ha demostrado ser una estrategia integral para mejorar la eficiencia operativa y la disponibilidad de los equipos en diversas industrias. Un estudio en una planta de producción industrial evidenció que tras la implementación de TPM la disponibilidad de los equipos aumentó del 69% al 86% mientras que el tiempo medio de reparación (MTTR) se redujo significativamente.

Estos resultados reflejan la capacidad de TPM para minimizar las interrupciones de producción y optimizar el rendimiento de los equipos contribuyendo a un mejor desempeño general de la planta (Moreira Pino, 2022).

Además de mejorar la disponibilidad de los equipos TPM tiene un impacto directo en la reducción de costos operativos. En un caso de estudio aproximadamente el 80% de las horas de mantenimiento en una planta industrial estaban dedicadas a reparaciones de emergencia. Tras la implementación de TPM el tiempo de mantenimiento no planificado se redujo a menos de 30 horas en un período de diez meses representando una disminución significativa que permitió reasignar recursos y reducir pérdidas por inactividad (Reliabilityweb, 2009).

El impacto positivo de TPM también se observa en la integración y coordinación entre departamentos. La combinación de TPM con metodologías como el

Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) ha demostrado que la colaboración entre producción y mantenimiento se fortalece, se mejoran los procedimientos de diagnóstico y reparación, y se optimiza la planificación de intervenciones. Esto no solo aumenta la confiabilidad de los equipos sino que también genera un ambiente de trabajo más estructurado y eficiente (Moore, 1999).

Diversos sectores industriales han documentado mejoras significativas tras la adopción de TPM. Por ejemplo en una planta de procesamiento de arroz, la eficiencia operativa pasó del 53% al 85% gracias a la implementación de los ocho pilares del TPM lo que resultó en un incremento de la productividad y una reducción considerable de pérdidas por paradas no planificadas.

Este caso demuestra que TPM es aplicable no solo en la industria automotriz o manufacturera sino también en procesos de procesamiento de alimentos y otras áreas donde la confiabilidad de los equipos es crítica (Moreira Pino, 2022).

La implementación de TPM contribuye a una mejora sostenida de la productividad y confiabilidad al fomentar la participación activa de todos los empleados en la gestión de mantenimiento y la mejora continua. La adopción de prácticas como mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, análisis de causa raíz y control de calidad de equipos permite reducir fallas, defectos y accidentes generando un impacto positivo en la competitividad de la empresa y en la calidad de los productos o servicios ofrecidos (Nakajima, 1988).

6.3 Lean Manufacturing

Lean Manufacturing es una filosofía de gestión y un conjunto de herramientas desarrolladas inicialmente por Toyota para mejorar la eficiencia de los procesos productivos mediante la eliminación de desperdicios (muda) y la optimización del flujo de valor. Su enfoque principal es generar valor para el cliente con el mínimo

uso de recursos, tiempo y esfuerzo asegurando productos y servicios de alta calidad (Womack, J. P. et al., 2003).

Los principios fundamentales de Lean incluyen valor, flujo, pull y perfección. El valor se define desde la perspectiva del cliente, el flujo busca que los procesos se realicen de manera continua, el pull asegura que la producción se realice en función de la demanda real y la perfección se orienta hacia la mejora continua eliminando desperdicios y optimizando procesos de forma sostenida (Liker, 2004).

Lean identifica los siete más uno desperdicios (7+1 muda): sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de inventario, movimientos innecesarios, defectos, sobreprocesamiento y el desperdicio de talento humano. La identificación y eliminación sistemática de estos desperdicios permite reducir costos, tiempos de ciclo y mejorar la eficiencia de los procesos industriales y de servicios (Rother & Shook, 2003).

Entre las herramientas Lean aplicables al mantenimiento y la operación se encuentran 5S, Kaizen, Kanban, SMED y Value Stream Mapping (VSM). Estas herramientas facilitan la organización del espacio de trabajo, la mejora continua, la gestión visual de inventarios, la reducción de tiempos de cambio de equipo y el análisis integral del flujo de valor contribuyendo a procesos más eficientes y confiables (García & Martínez, 2021).

La implementación de Lean Manufacturing ha demostrado beneficios significativos en diversos sectores incluyendo manufactura, servicios y logística. Entre los resultados reportados se incluyen reducción de desperdicios, mejora en la calidad de productos, incremento en la satisfacción del cliente y aumento de la competitividad empresarial especialmente cuando se integra con metodologías de mantenimiento como TPM (Nakajima, 1988; Liker, 2004).

6.3.1 Fundamentos y principios Lean (valor, flujo, pull, perfección)

El Lean Thinking es una filosofía de gestión originada en la industria automotriz japonesa especialmente en Toyota que busca maximizar el valor para el cliente mediante la eliminación sistemática de desperdicios en los procesos. Su objetivo central es crear más valor utilizando menos recursos enfocándose en las actividades que aportan valor real al cliente y eliminando todas aquellas que no lo hacen. Esta filosofía no solo mejora la eficiencia operativa sino que también fortalece la competitividad y la capacidad de respuesta de las organizaciones ante los cambios del mercado (Gavilán, 2023).

Uno de los principios fundamentales del Lean es especificar el valor desde la perspectiva del cliente. Esto significa identificar qué es lo que el cliente considera valioso y diseñar todos los procesos para entregar ese valor de manera consistente. Para ello, las organizaciones deben involucrar al cliente y analizar sus necesidades, preferencias y expectativas, asegurando que cada recurso invertido se traduzca en valor tangible. Este enfoque permite priorizar actividades y eliminar aquellas que no contribuyen al objetivo central de satisfacción del cliente (Gavilán, 2023).

El segundo principio mapear el flujo de valor consiste en identificar y visualizar todas las actividades involucradas en la producción de bienes o servicios diferenciando entre aquellas que agregan valor y aquellas que no. Herramientas como el Mapa del Flujo de Valor (Value Stream Mapping) permiten identificar cuellos de botella, redundancias y procesos innecesarios. Este análisis detallado es clave para diseñar un flujo más eficiente y enfocado en entregar valor además de servir como base para la mejora continua de los procesos (Gavilán, 2023).

Una vez identificado el flujo de valor se busca crear flujo, es decir organizar los procesos de manera que los productos o servicios se muevan de manera continua y sin interrupciones. Esto implica reducir tiempos de espera, optimizar secuencias de trabajo y coordinar los distintos procesos de manera eficiente. Un flujo continuo

aumenta la productividad, reduce el desperdicio y permite una respuesta más rápida a las necesidades del cliente generando un proceso más flexible y ágil frente a cambios en la demanda (Gavilán, 2023).

El principio de establecer un sistema pull se centra en producir únicamente lo que el cliente necesita en la cantidad que lo requiere y en el momento que lo solicita. Este enfoque contrasta con los sistemas push tradicionales basados en pronósticos y ayuda a reducir inventarios, disminuir la sobreproducción y mejorar la eficiencia en la cadena de suministro. Finalmente perseguir la perfección implica adoptar una mentalidad de mejora continua (Kaizen) donde cada proceso se analiza constantemente para eliminar desperdicios y optimizar recursos fomentando una cultura organizacional orientada a la excelencia y a la innovación constante (Gavilán, 2023).

6.3.2 Los 7+1 desperdicios (muda) en procesos industriales y de servicios

El concepto de muda proviene del Sistema de Producción Toyota y se refiere a cualquier actividad que consume recursos pero no genera valor para el cliente. Identificar y eliminar estos desperdicios es esencial para mejorar la eficiencia y competitividad de las organizaciones (Rother & Shook, 2003).

6.3.2.1 Sobreproducción

El primer desperdicio es la sobreproducción que consiste en producir más unidades de las necesarias o antes de que sean requeridas. Este desperdicio genera inventarios excesivos, aumenta los costos de almacenamiento y puede llevar a la obsolescencia del producto. En servicios se manifiesta cuando se ofrecen más servicios de los que el cliente demanda generando recursos infrautilizados y costos innecesarios (Liker, 2004).

6.3.2.2 Inventario

El segundo desperdicio es el inventario entendido como el exceso de materiales, productos en proceso o productos terminados de los necesarios. Esto no solo ocupa

espacio valioso sino que también puede ocultar otros problemas como defectos o fallas en el proceso. En servicios se puede observar cuando se acumulan tareas o solicitudes sin procesar afectando la eficiencia y tiempos de respuesta (Rother & Shook, 2003).

6.3.2.3 Movimiento

El tercer desperdicio es el movimiento que se refiere a los desplazamientos innecesarios de personas o equipos durante el proceso de producción o prestación de servicios. Estos movimientos no agregan valor y pueden aumentar el tiempo de ciclo y el riesgo de lesiones. En entornos de oficina incluye desplazamientos para buscar información o herramientas (Liker, 2004).

6.3.2.4 Esperas

El cuarto desperdicio son las esperas que ocurren cuando hay inactividad debido a retrasos en la llegada de materiales, información o aprobación de procesos. En la manufactura puede ser el tiempo que una máquina espera para recibir materiales. En servicios puede ser el tiempo que un cliente espera para ser atendido (Rother & Shook, 2003).

6.3.2.5 Sobreprocesamiento

El quinto desperdicio es el sobreprocesamiento que implica realizar más trabajo del necesario para cumplir con los requisitos del cliente. Esto puede incluir pasos adicionales en el proceso, uso de herramientas más complejas de lo necesario o características del producto que no aportan valor. En servicios se manifiesta como procedimientos burocráticos innecesarios (Liker, 2004).

6.3.2.6 Defecto

El sexto desperdicio son los defectos, es decir productos o servicios que no cumplen con los estándares de calidad y requieren retrabajo o generan desperdicio. Esto aumenta los costos y afecta la satisfacción del cliente. En servicios puede ser la

entrega de información incorrecta o la realización de tareas que no cumplen con las expectativas del cliente (Rother & Shook, 2003).

6.3.2.7 Talento no utilizado

El séptimo desperdicio es el talento no utilizado que se refiere a no aprovechar completamente las habilidades y conocimientos del personal. Se manifiesta cuando los empleados no están involucrados en la toma de decisiones, mejora de procesos o resolución de problemas. Valorar y utilizar el talento de los empleados puede llevar a mejoras significativas en la eficiencia y calidad (Liker, 2004).

Tabla 2: Clasificación de los desperdicios (Muda) en Lean Manufacturing

Clasificación de los desperdicios (Muda) en Lean Manufacturing					
Tipo de desperdicio	Definición breve□	Ejemplo industrial	Impacto en la eficiencia□	Consecuencia principal	Posible solución
Sobreproducción	Fabricar más productos de los necesarios o antes de ser requeridos.	Producción de piezas de perforación sin pedido inmediato.	Saturación de inventarios y aumento de costos.	Incremento en almacenamiento innecesario, riesgo de obsolescencia.	Producción ajustada a la demanda real (Just in Time).
Esperas	Tiempo perdido por inactividad de operarios o equipos.	Operador detenido esperando refacciones para continuar.	Pérdida de tiempo productivo.	Retraso en las entregas y baja productividad.□	Mejorar la programación y logística de materiales.
Talento no utilizado	No aprovechar las habilidades, conocimientos y creatividad de los empleados en la mejora de procesos o toma de decisiones.	Operarios con experiencia técnica asignados solo a tareas rutinarias sin posibilidad de aportar mejoras.	Pérdida de productividad, innovación limitada y baja motivación del personal.	Fuga de talento, pérdida de oportunidades de mejora continua y menor competitividad.	Involucrar al personal en decisiones, capacitarlos, reconocer sus aportaciones y establecer canales de comunicación.
Exceso de inventario	Acumulación de materiales o productos más allá de lo necesario.	Almacenes saturados de tuberías o piezas.	Inmovilización de capital y espacio.	Dificultad en la gestión de almacenes y riesgo de deterioro.	Implementar control de inventarios y sistemas pull.
Movimiento innecesario	Desplazamientos innecesarios de personas, maquinaria o herramientas.	Caminatas largas para recoger herramientas.	Pérdida de tiempo y fatiga de los trabajadores.	Reducción de la productividad y aumento del esfuerzo físico.	Rediseñar estaciones de trabajo ergonómicas y eficientes.
Defectos	Producción de bienes defectuosos que requieren retrabajo o desecho.	Perforaciones fuera de especificaciones.	Aumento de costos de retrabajo y desperdicio de materiales.	Reprocesos, retrasos y pérdida de satisfacción del cliente.	Implementar controles de calidad en proceso y mantenimiento preventivo.
Procesos ineficientes	Operaciones que no agregan valor al producto o servicio.	Inspecciones duplicadas o pasos innecesarios.	Aumento de tiempos de ciclo y costos operativos.	Consumo de recursos sin generar valor.	Estandarizar procesos y eliminar actividades redundantes.

Fuente: *Elaboración propia*

6.3.3 Herramientas Lean aplicables a mantenimiento:

Las herramientas Lean son fundamentales para mejorar la eficiencia y la confiabilidad en la gestión de mantenimiento ya que permiten eliminar desperdicios, estandarizar procesos y fomentar la mejora continua. Su implementación contribuye a optimizar los tiempos de intervención, reducir costos y aumentar la disponibilidad de los equipos lo que impacta directamente en la productividad y competitividad de la empresa (García & Martínez, 2021).

6.3.3.1 5S

La metodología 5S es una herramienta básica que busca organizar el lugar de trabajo mediante cinco pasos: clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar y mantener la disciplina. En mantenimiento la implementación de 5S facilita la localización rápida de herramientas y repuestos, reduce el riesgo de accidentes y asegura que las áreas de trabajo estén listas para la ejecución de actividades preventivas y correctivas. Por ejemplo un taller de mantenimiento industrial que aplica 5S puede reducir hasta un 20% el tiempo de búsqueda de herramientas y materiales (Liker, 2004).

6.3.3.2 Kaizen

Kaizen, o mejora continua promueve la participación de todos los empleados en la identificación de problemas y propuestas de mejora. En el área de mantenimiento Kaizen se aplica para optimizar procedimientos de inspección, reparación y limpieza, reduciendo fallas recurrentes y mejorando la confiabilidad de los equipos. La implementación de pequeños cambios de forma continua permite lograr mejoras significativas en eficiencia y calidad generando además una cultura organizacional orientada a la excelencia (Imai, 2012).

6.3.3.3 Kanban

El sistema Kanban es una herramienta de control visual que gestiona el flujo de trabajo y los inventarios de manera eficiente. En mantenimiento Kanban asegura

que los materiales y repuestos necesarios estén disponibles en el momento exacto evitando exceso de inventario y retrasos en la ejecución de tareas. Por ejemplo en plantas de producción Kanban puede organizar los repuestos críticos de equipos garantizando que siempre estén listos para reemplazos inmediatos y evitando paradas prolongadas por falta de piezas (García & Martínez, 2021).

6.3.3.4 SMED

SMED o cambio rápido de herramientas es una metodología Lean diseñada para reducir los tiempos de preparación y ajuste de maquinaria a menos de 10 minutos (de ahí Single Minute). En mantenimiento SMED permite minimizar las paradas de producción derivadas de ajustes, cambios de moldes o herramientas aumentando así la disponibilidad de los equipos y la eficiencia de los procesos (Shingo, 1985). La implementación de SMED comienza con el análisis detallado de todas las actividades involucradas en un cambio de herramienta diferenciando entre tareas internas (que requieren la máquina parada) y externas (que se pueden realizar con la máquina en operación). Al reorganizar y estandarizar estas actividades es posible reducir significativamente los tiempos de inactividad lo que impacta directamente en la productividad y la confiabilidad de los equipos (Shingo, 1985).

6.3.3.5 Value Stream Mapping (VSM)

El Value Stream Mapping (VSM) es una herramienta Lean que permite visualizar y analizar todo el flujo de valor de un proceso identificando actividades que agregan valor y aquellas que representan desperdicio (Rother & Shook, 2003).

En mantenimiento VSM se aplica para mapear las tareas de inspección, reparación, reemplazo y limpieza con el fin de optimizar el flujo de trabajo y reducir tiempos de espera o retrabajo.

VSM permite a los equipos de mantenimiento identificar cuellos de botella, redundancias y retrasos en los procesos. Por ejemplo al mapear el flujo de repuestos o de solicitudes de trabajo se pueden implementar mejoras en la logística

de materiales, la programación de tareas y la comunicación entre producción y mantenimiento aumentando la eficiencia global (Rother & Shook, 2003).

Tabla 3: Herramientas de Lean Manufacturing y su propósito

Herramientas de Lean Manufacturing y su propósito		
Herramienta	Propósito principal	Aplicación típica
Sistema Kanban	Gestionar visualmente el flujo de trabajo y materiales	Control de inventarios y producción JIT
Metodología 5S	Organización, limpieza y estandarización del lugar de trabajo	Áreas de producción y mantenimiento
SMED (Single-Minute Exchange of Die)	Reducir tiempos de cambio de herramientas	Líneas de producción flexibles
Kaizen	Fomentar la mejora continua de procesos	Producción, administración y servicios
Jidoka	Detección automática de defectos y detención del proceso	Líneas de ensamblaje y manufactura
Mapa de Flujo de Valor (Value Stream Mapping)	Identificar desperdicios y optimizar procesos	Análisis de procesos de valor agregado
Heijunka	Nivelar y balancear la producción	Producción en serie, células de manufactura
TPM (Total Productive Maintenance)	Maximizar la eficiencia de equipos mediante mantenimiento autónomo	Gestión de activos y plantas industriales

Fuente: *Elaboración propia*

6.3.4 Sinergia entre Lean y TPM como sistema integral

La integración de Lean y TPM permite a las organizaciones mejorar simultáneamente la eficiencia de los procesos y la confiabilidad de los equipos. Mientras Lean se enfoca en eliminar desperdicios y optimizar el flujo de valor, TPM garantiza la disponibilidad, mantenimiento y cuidado de los activos. La combinación de ambos enfoques genera un sistema integral que potencia la productividad, reduce costos y mejora la calidad de productos y servicios (Nakajima, 1988; Liker, 2004).

Uno de los beneficios principales de esta sinergia es la reducción de tiempos de inactividad y paradas no planificadas. Lean identifica desperdicios en los procesos de producción mientras que TPM asegura que los equipos estén en condiciones

óptimas mediante mantenimiento autónomo, planificado y predictivo. Esto permite que las máquinas operen de manera continua y eficiente aumentando la disponibilidad y la capacidad productiva de la planta (García & Martínez, 2021).

La integración también fomenta la mejora continua en todos los niveles de la organización. Kaizen como herramienta Lean y los pilares del TPM como mejora enfocada y mantenimiento de calidad trabajan de manera complementaria para identificar problemas, analizar causas raíz y aplicar soluciones permanentes. Esto no solo optimiza los procesos sino que también fortalece la cultura organizacional orientada a la excelencia y participación del personal (Imai, 2012; Nakajima, 1988).

Otro aspecto relevante es la optimización del flujo de materiales y recursos donde herramientas Lean como VSM y Kanban se combinan con los principios de TPM. Por ejemplo la planificación de mantenimiento planificado puede coordinarse con la gestión de inventarios Kanban evitando exceso de repuestos y asegurando que los materiales críticos estén disponibles justo a tiempo. Esta coordinación mejora la eficiencia operativa y reduce el riesgo de interrupciones por falta de recursos (Rother & Shook, 2003; García & Martínez, 2021).

La sinergia entre Lean y TPM contribuye a mejorar la competitividad y sostenibilidad de la empresa. La eliminación de desperdicios, la confiabilidad de los equipos y la mejora continua se traducen en menores costos de producción, mayor calidad de productos o servicios, y un entorno de trabajo más seguro y eficiente. La integración de ambos enfoques permite a las organizaciones responder con mayor agilidad a cambios en la demanda y mantenerse competitivas en mercados dinámicos (Liker, 2004; Nakajima, 1988).

6.4 Efectividad Global de los Equipos (OEE)

La Efectividad Global de los Equipos (OEE por sus siglas en inglés Overall Equipment Effectiveness) es un indicador clave en la gestión de mantenimiento y mejora continua que permite evaluar la eficiencia de los equipos de producción.

OEE combina tres componentes fundamentales: disponibilidad, rendimiento y calidad ofreciendo una visión integral del desempeño operativo de los activos (Nakajima, 1988).

El componente disponibilidad mide el tiempo en que un equipo está en condiciones de operar frente al tiempo programado considerando paradas planificadas y no planificadas. Este indicador refleja la confiabilidad de los equipos y permite identificar oportunidades de mejora en los programas de mantenimiento preventivo y correctivo (Bamber et al., 2019).

El rendimiento indica la velocidad a la que un equipo opera en comparación con su capacidad máxima teórica. Una disminución en este componente puede deberse a tiempos de ciclo superiores a los planificados, ajustes frecuentes o ineficiencias operativas por lo que su monitoreo permite optimizar procesos y aumentar la productividad (García & Martínez, 2021).

El componente de calidad evalúa el porcentaje de productos conformes frente al total producido. Los defectos, retrabajos y reprocesos afectan negativamente la eficiencia global por lo que la mejora de la calidad mediante mantenimiento de equipos y estandarización de procesos contribuye directamente a incrementar el OEE (Liker, 2004).

El OEE se utiliza para priorizar acciones de mejora, medir el impacto de iniciativas Lean y TPM, y comparar el desempeño de equipos o líneas de producción. Su implementación permite a las organizaciones reducir desperdicios, aumentar la disponibilidad de activos y mejorar la confiabilidad y competitividad de los procesos productivos (Imai, 2012; Nakajima, 1988).

6.4.1 Definición de OEE y su relevancia en la medición de desempeño.

El OEE (Overall Equipment Effectiveness) o Eficiencia General de los Equipos es un indicador que permite medir la eficacia de los equipos de producción tomando en cuenta tres factores: disponibilidad, rendimiento y calidad. La disponibilidad refleja el tiempo en que el equipo está operando respecto al tiempo programado, el rendimiento indica la velocidad de operación en comparación con la capacidad teórica y la calidad representa el porcentaje de productos conformes respecto al total producido (Nakajima, 1988).

El OEE se considera un indicador clave dentro de los programas de mantenimiento y mejora continua ya que permite identificar las pérdidas asociadas a fallas, tiempos muertos, defectos y paradas no planificadas. Su análisis facilita la priorización de acciones de mejora permitiendo que los equipos se utilicen de manera más eficiente y se optimicen los recursos disponibles (Bamber et al., 2019).

OEE es útil para establecer benchmarking interno y externo comparando la efectividad de diferentes equipos, líneas de producción o plantas. Esto ayuda a identificar áreas críticas donde las pérdidas son mayores y a evaluar el impacto de iniciativas de mantenimiento y programas Lean o TPM permitiendo tomar decisiones basadas en datos concretos (García & Martínez, 2021).

En el contexto del mantenimiento preventivo y predictivo OEE proporciona una visión clara de cómo las actividades de mantenimiento contribuyen al desempeño global. Por ejemplo una mejora en la disponibilidad por reducción de fallas recurrentes o en la calidad por disminución de defectos repercute directamente en el OEE ofreciendo una métrica objetiva para evaluar la efectividad de estas estrategias (Nakajima, 1988; Imai, 2012).

La medición constante del OEE permite impulsar la cultura de mejora continua ya que ofrece indicadores concretos sobre dónde actuar para incrementar la eficiencia de los equipos. Su uso sistemático ayuda a reducir desperdicios, optimizar procesos

y aumentar la confiabilidad de los activos consolidándose como una herramienta indispensable para empresas que implementan Lean y TPM de manera integrada (Bamber et al., 2019; Liker, 2004).

6.4.2 Componentes de OEE: disponibilidad, rendimiento y calidad

El OEE (Overall Equipment Effectiveness) se calcula a partir de tres componentes fundamentales: disponibilidad, rendimiento y calidad. La disponibilidad mide el porcentaje de tiempo que un equipo está realmente operativo frente al tiempo total programado. Este componente considera las paradas no planificadas, fallas mecánicas o retrasos en el inicio de operaciones, permitiendo identificar oportunidades de mejora en la confiabilidad y el mantenimiento de los equipos (Nakajima, 1988).

Para efectos de esta investigación desarrollada en un entorno de servicios de campo la disponibilidad se calculará considerando el tiempo de posicionamiento, montaje y estabilización del equipo de perforación como tiempo operativo de valor. Este criterio permite diferenciar dichos periodos de las paradas por falla mecánica, mantenimiento correctivo o inactividad no planificada, excluyendo del tiempo programado los traslados entre municipios.

El segundo componente el rendimiento refleja la velocidad a la que un equipo produce en comparación con su capacidad máxima teórica. Factores como tiempos de ciclo mayores a los planificados, reducción de velocidad por ajustes o ineficiencias operativas afectan este indicador. En mantenimiento el análisis del rendimiento permite optimizar procesos, eliminar cuellos de botella y planificar intervenciones preventivas para mantener la eficiencia operativa (Bamber et al., 2019).

La calidad es el tercer componente y se refiere al porcentaje de productos conformes generados por el equipo respecto al total producido. Los defectos, retrabajos y reprocesos reducen este indicador impactando directamente en el OEE.

En mantenimiento industrial la mejora de la calidad se logra mediante controles preventivos, calibración de equipos y seguimiento de parámetros críticos que aseguren productos o servicios libres de fallas (García & Martínez, 2021).

Tabla 4: Componentes de OEE (Overall Equipment Effectiveness)

Componentes de OEE (Overall Equipment Effectiveness)				
Componente	Definición	Factores que lo afectan	Aplicación en mantenimiento	Ejemplo práctico
Disponibilidad	Porcentaje de tiempo que el equipo está operativo frente al programado.	Paradas no planificadas, fallas mecánicas, retrasos en arranque.	Mejora la confiabilidad y permite programar mantenimientos preventivos.	Una máquina que debería operar 8 horas, pero se detiene 2 por fallas → disponibilidad del 75%.
Rendimiento	Velocidad real de producción comparada con la máxima teórica.	Ciclos más largos, ajustes de máquina, cuellos de botella.	Identifica pérdidas de velocidad y permite optimizar procesos.	Una línea diseñada para producir 100 piezas/hora, pero produce 80 → rendimiento del 80%.
Calidad	Porcentaje de productos conformes respecto al total producido.	Defectos, reprocesos, retrabajos.	Implementación de controles preventivos y calibraciones.	De 1,000 piezas producidas, 950 son conformes y 50 defectuosas → calidad del 95%.

Fuente: *Elaboración propia*

Cada componente del OEE es interdependiente y permite un análisis detallado de las pérdidas que afectan la eficiencia de los equipos. Por ejemplo una máquina con alta disponibilidad pero con bajo rendimiento o muchos defectos tendrá un OEE reducido, lo que indica que las mejoras deben enfocarse en los aspectos específicos que limitan la eficiencia. Este enfoque detallado facilita la toma de decisiones para priorizar acciones de mantenimiento y mejora continua (Nakajima, 1988; Imai, 2012).

El seguimiento constante de los tres componentes de OEE permite a las organizaciones medir, comparar y optimizar el desempeño de sus activos. Al entender cómo disponibilidad, rendimiento y calidad afectan la eficiencia global, las empresas pueden implementar estrategias integradas de TPM y Lean para reducir desperdicios, aumentar la confiabilidad de los equipos y mejorar la productividad de manera sostenible (Liker, 2004; Bamber et al., 2019).

6.4.3 Indicadores asociados: MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time To Repair)

Los indicadores MTBF (Mean Time Between Failures) y MTTR (Mean Time To Repair) son métricas clave en la gestión del mantenimiento y la confiabilidad de los

equipos. MTBF representa el tiempo promedio transcurrido entre fallas sucesivas de un equipo proporcionando información sobre su confiabilidad y la efectividad de los programas de mantenimiento preventivo. Un MTBF alto indica que el equipo opera de manera estable durante períodos prolongados lo que reduce paradas no planificadas y aumenta la disponibilidad (Mobley, 2002a).

El MTTR mide el tiempo promedio requerido para reparar un equipo después de una falla incluyendo diagnóstico, reparación y pruebas de verificación. Este indicador refleja la eficiencia de los procesos de mantenimiento correctivo y la capacidad del personal para restaurar la operación normal de los equipos de manera rápida. Un MTTR bajo contribuye a minimizar el impacto de las fallas en la producción y mejora la disponibilidad global de los activos (Bamber et al., 2019).

Ambos indicadores son complementarios y se utilizan junto con el OEE para evaluar el desempeño integral de los equipos. Mientras el MTBF permite identificar equipos con alta frecuencia de fallas y planificar estrategias de mantenimiento preventivo el MTTR ayuda a optimizar procedimientos de reparación y asegurar que las intervenciones sean efectivas y rápidas. Esta combinación proporciona una visión completa de la confiabilidad y eficiencia de los activos (Nakajima, 1988).

En la práctica industrial los indicadores MTBF y MTTR permiten priorizar recursos y acciones de mantenimiento. Por ejemplo equipos críticos con bajo MTBF y alto MTTR requieren intervenciones más frecuentes, mejoras en repuestos o capacitación del personal. Por el contrario equipos con alto MTBF y bajo MTTR representan activos confiables que requieren menos supervisión lo que optimiza la asignación de recursos y tiempos de mantenimiento (García & Martínez, 2021).

El seguimiento constante de MTBF y MTTR permite implementar una cultura de mejora continua y mantenimiento proactivo ya que facilita la identificación de patrones de fallas, la planificación de acciones preventivas y la reducción de tiempos de reparación. Su integración con indicadores como OEE y KPIs de mantenimiento

refuerza la eficiencia operativa y la confiabilidad de los equipos en entornos industriales y de servicios (Liker, 2004; Imai, 2012).

6.4.4 Aplicaciones del OEE en sectores de manufactura y servicios

El OEE (Overall Equipment Effectiveness) se utiliza ampliamente en la industria manufacturera para evaluar la eficiencia de las líneas de producción y el desempeño de los equipos. Permite identificar pérdidas por paradas no planificadas, defectos o bajas velocidades de operación facilitando la toma de decisiones sobre mantenimiento, reorganización de procesos y priorización de recursos. Por ejemplo en plantas automotrices el OEE se emplea para medir la efectividad de las máquinas en el ensamblaje de piezas optimizando tiempos de producción y reduciendo desperdicios (Nakajima, 1988).

En sectores de alimentación y bebidas el OEE ayuda a controlar la eficiencia de equipos críticos como mezcladoras, embotelladoras y líneas de envasado. La información obtenida permite mejorar la planificación de mantenimientos preventivos, ajustar la velocidad de producción según la demanda y minimizar pérdidas por productos defectuosos aumentando la rentabilidad de las operaciones (Bamber et al., 2019).

En el ámbito de servicios aunque los procesos no siempre son físicos OEE puede adaptarse para medir la eficiencia de equipos y sistemas que soportan la prestación del servicio. Por ejemplo en hospitales el OEE puede aplicarse a equipos de diagnóstico, laboratorios o sistemas de esterilización evaluando disponibilidad, rendimiento y calidad de los resultados lo que permite optimizar recursos y reducir tiempos de espera de los pacientes (García & Martínez, 2021).

Otra aplicación relevante es en sectores logísticos y de almacenamiento donde OEE se utiliza para medir la eficiencia de transportadores, sistemas de picking o equipos de carga y descarga. La medición de la disponibilidad y rendimiento de estos activos permite identificar cuellos de botella, planificar mantenimientos programados y mejorar la productividad de la cadena de suministro (Liker, 2004).



Figura 4: Aplicaciones del OEE (Overall Equipment Effectiveness)

Fuente: *Elaboración propia*

La implementación del OEE en distintos sectores permite integrar indicadores de Lean y TPM generando una visión completa del desempeño de los equipos y procesos. Esto facilita la toma de decisiones basada en datos, prioriza acciones de mejora continua y contribuye a una gestión más eficiente de los recursos aumentando la confiabilidad y competitividad de la organización (Nakajima, 1988; Imai, 2012).

6.5 Integración TPM-Lean

La integración de TPM (Total Productive Maintenance) y Lean Manufacturing constituye un enfoque integral de mejora continua que combina la confiabilidad de los equipos con la eficiencia de los procesos. Mientras TPM busca maximizar la disponibilidad y rendimiento de los activos mediante mantenimiento autónomo, planificado y preventivo Lean se centra en eliminar desperdicios y optimizar el flujo

de valor. La combinación permite lograr una operación más eficiente, confiable y competitiva (Nakajima, 1988; Liker, 2004).

Uno de los principales beneficios de esta integración es la reducción de desperdicios y pérdidas de productividad. Lean identifica actividades que no agregan valor como tiempos de espera, movimientos innecesarios o exceso de inventario mientras que TPM asegura que los equipos funcionen de manera óptima evitando paradas no planificadas. Esta sinergia permite aumentar la eficiencia operativa y reducir costos en los procesos productivos (Bamber et al., 2019).

La integración TPM-Lean también mejora la calidad de productos y servicios. El mantenimiento de calidad pilar de TPM reduce defectos y retrabajos mientras que Lean estandariza los procesos y elimina errores en el flujo de valor. Esta combinación impacta directamente en la satisfacción del cliente y en la consistencia de la producción fortaleciendo la competitividad de la organización (García & Martínez, 2021).

Otro aspecto relevante es la promoción de la cultura de mejora continua y participación del personal. TPM involucra a los operadores en el cuidado de los equipos mientras que Lean fomenta Kaizen y la identificación constante de oportunidades de mejora. Esta interacción fortalece la disciplina, seguridad y compromiso del personal consolidando prácticas sostenibles y efectivas (Imai, 2012).

La integración de TPM y Lean permite la medición y seguimiento de indicadores de desempeño como OEE, MTBF y MTTR facilitando la priorización de acciones y la optimización de recursos. La combinación de ambos enfoques proporciona una visión completa del desempeño de los equipos y procesos apoyando la toma de decisiones estratégicas y asegurando mejoras sostenibles en productividad y confiabilidad (Nakajima, 1988; Liker, 2004).

6.5.1 Modelos combinados de mejora continua

Los modelos combinados de mejora continua integran diversas metodologías y herramientas para optimizar procesos, aumentar la eficiencia y reducir desperdicios en las organizaciones. La combinación más frecuente es la integración de Lean Manufacturing y Total Productive Maintenance (TPM) donde Lean se enfoca en la eliminación de desperdicios y optimización del flujo de valor mientras que TPM garantiza la confiabilidad y disponibilidad de los equipos (Nakajima, 1988; Liker, 2004).

Otro enfoque es la integración de Kaizen, Six Sigma y Lean que combina la mejora continua incremental con la reducción de variabilidad y desperdicios. Esta sinergia permite que las empresas no solo eliminen pérdidas en procesos sino que también estandaricen operaciones, reduzcan defectos y optimicen la calidad de productos y servicios. Por ejemplo en la industria automotriz la implementación conjunta de estas metodologías ha demostrado mejorar la eficiencia de líneas de ensamble y reducir defectos en productos finales (Imai, 2012; George et al., 2005).

Los modelos integrados de Lean-TPM se aplican especialmente en mantenimiento industrial para maximizar la disponibilidad de los equipos y mejorar la eficiencia operativa. Lean identifica desperdicios en los procesos de mantenimiento mientras que TPM asegura que los equipos estén en condiciones óptimas mediante mantenimiento autónomo, planificado y predictivo. Esto permite planificar actividades preventivas y correctivas de manera más eficiente aumentando la productividad y reduciendo costos por paradas no programadas (García & Martínez, 2021).

Algunos modelos combinados incluyen Indicadores de Desempeño (KPIs) como OEE, MTBF y MTTR integrando métricas de confiabilidad con eficiencia de procesos. Esta integración permite una evaluación completa del desempeño de los equipos y procesos facilitando la priorización de acciones de mejora y optimización

de recursos en tiempo real. Por ejemplo un análisis conjunto de OEE y MTBF permite determinar si las mejoras deben enfocarse en reducir fallas recurrentes o aumentar la velocidad de operación de los equipos (Bamber et al., 2019).

Los modelos combinados fomentan una cultura organizacional orientada a la mejora continua donde todos los niveles de la empresa participan en la identificación de problemas y aplicación de soluciones. La integración de diferentes metodologías permite un enfoque sistémico y sostenible que incrementa la competitividad, la calidad y la confiabilidad de los procesos en sectores industriales y de servicios (Liker, 2004; Nakajima, 1988).

6.5.2 Beneficios de aplicar TPM y Lean en conjunto

La implementación conjunta de TPM (Total Productive Maintenance) y Lean Manufacturing permite a las organizaciones maximizar la eficiencia operativa y la confiabilidad de los equipos. Mientras Lean se centra en eliminar desperdicios y optimizar el flujo de valor TPM asegura que los equipos estén disponibles y en condiciones óptimas. Esta combinación reduce tiempos de inactividad, aumenta la productividad y contribuye a un uso más eficiente de los recursos (Nakajima, 1988; Liker, 2004).

Uno de los principales beneficios es la reducción de fallas y paradas no planificadas. La aplicación de TPM asegura que los equipos reciban mantenimiento preventivo y predictivo adecuado mientras que Lean identifica y elimina actividades que no agregan valor. Esto permite mantener las líneas de producción operando de manera continua minimizando retrasos y pérdidas por interrupciones (Bamber et al., 2019).

Otro beneficio relevante es la mejora en la calidad de los productos y servicios. TPM contribuye a reducir defectos mediante mantenimiento de calidad y calibración de equipos mientras que Lean optimiza procesos y elimina errores en el flujo de producción. Esta sinergia disminuye reprocesos y retrabajos incrementando la satisfacción del cliente y la eficiencia de la operación (García & Martínez, 2021).

La combinación de TPM y Lean también promueve la cultura de mejora continua y participación del personal. Kaizen como herramienta Lean y los pilares de TPM como el mantenimiento autónomo y la mejora enfocada involucran a los empleados en la identificación de problemas y la implementación de soluciones. Esto fortalece la disciplina, la seguridad laboral y el compromiso del equipo con la eficiencia y confiabilidad de los procesos (Imai, 2012; Nakajima, 1988).

La integración de ambos enfoques permite obtener beneficios económicos y competitivos. La reducción

de desperdicios, el aumento de la disponibilidad de los equipos y la mejora en la calidad contribuyen a menores costos operativos, mayor productividad y capacidad de respuesta ante cambios en la demanda. Esto posiciona a las empresas de manera más competitiva en el mercado fomentando procesos sostenibles y eficientes (Liker, 2004; Bamber et al., 2019).

6.5.3 Retos y limitaciones documentadas en la literatura

La implementación conjunta de TPM y Lean enfrenta diversos retos que han sido documentados en la literatura. Uno de los principales es la resistencia al cambio por parte del personal especialmente cuando se trata de modificar hábitos, asumir responsabilidades en mantenimiento autónomo o adaptarse a nuevas metodologías de trabajo. Esta resistencia puede retrasar los beneficios esperados y requiere estrategias de capacitación, comunicación y liderazgo efectivo (García & Martínez, 2021).

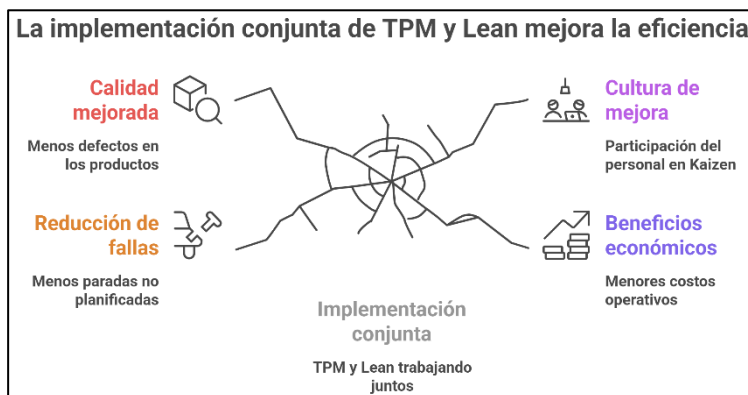


Figura 5: Implementación conjunta de TPM y Lean

Fuente: Elaboración propia

Otro desafío importante es la inadecuada disponibilidad de recursos tanto humanos como materiales. La falta de personal capacitado para ejecutar mantenimiento preventivo así como la insuficiencia de repuestos o herramientas puede limitar la efectividad de TPM. De igual forma la implementación de Lean requiere tiempo y compromiso para mapear procesos, eliminar desperdicios y estandarizar actividades lo que puede ser un obstáculo en empresas con alta carga operativa (Bamber et al., 2019).

La literatura también identifica dificultades en la integración de sistemas y métricas. Por ejemplo correlacionar indicadores de OEE, MTBF y MTTR con los procesos Lean no siempre es sencillo especialmente en organizaciones que carecen de sistemas de información robustos o cultura de medición basada en datos. Esta limitación puede dificultar la evaluación objetiva del desempeño y la toma de decisiones estratégicas (Nakajima, 1988).

Se reporta que la sostenibilidad de los programas representa un reto. Muchas iniciativas de TPM y Lean muestran resultados positivos inicialmente pero sin seguimiento y compromiso a largo plazo los avances pueden revertirse. Esto requiere la institucionalización de prácticas de mejora continua, auditorías periódicas y fortalecimiento de la cultura organizacional orientada a la eficiencia y confiabilidad (Imai, 2012; Liker, 2004).

Algunas investigaciones destacan la adaptación de estas metodologías a contextos específicos como empresas de servicios, sectores de alta

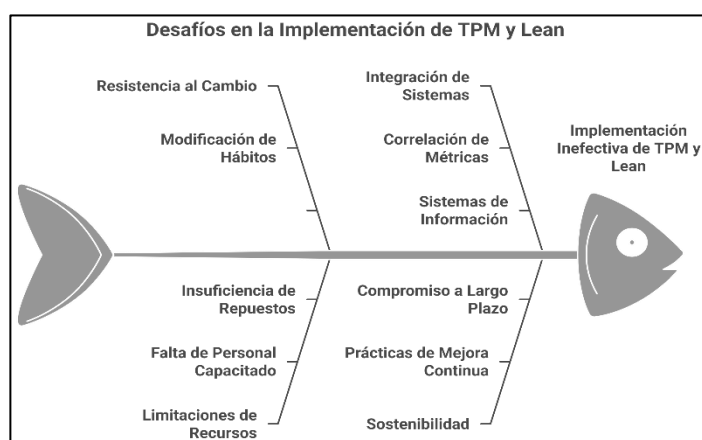


Figura 6: Ishikawa de desafíos en la implementación de TPM y Lean

Fuente: *Elaboración propia*

variabilidad o pequeñas y medianas empresas. La falta de flexibilidad en la aplicación de ciertos pilares de TPM o herramientas Lean puede limitar los resultados por lo que se recomienda ajustar los modelos a la realidad operativa de cada organización priorizando los procesos críticos y los equipos estratégicos (García & Martínez, 2021).

6.5.4 Casos de estudio de integración TPM-Lean en contextos industriales y de servicios

La integración de TPM y Lean ha sido documentada en múltiples casos de estudio dentro de la industria manufacturera mostrando mejoras significativas en productividad y confiabilidad de los equipos. Por ejemplo en una planta automotriz la implementación conjunta de mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado y herramientas Lean como 5S y Kaizen permitió reducir los tiempos de paro no planificados en un 30% y aumentar la eficiencia global de los equipos (García & Martínez, 2021).

En la industria alimentaria un caso reportado mostró que la combinación de TPM y Lean en líneas de envasado permitió disminuir defectos y retrabajos mediante inspecciones planificadas y estandarización de procesos. El uso de indicadores como OEE, MTBF y MTTR facilitó la evaluación del impacto de las mejoras evidenciando un aumento en la disponibilidad de equipos y reducción de desperdicios de materiales (Bamber et al., 2019).

En sectores de servicios se han aplicado estos modelos para optimizar procesos de soporte y mantenimiento de equipos críticos. Por ejemplo en un hospital la integración de Lean para la gestión de flujo de pacientes y repuestos junto con TPM para asegurar el correcto funcionamiento de equipos de diagnóstico y esterilización permitió reducir tiempos de espera y mejorar la disponibilidad de dispositivos médicos aumentando la eficiencia del servicio (Imai, 2012).

Otro caso interesante se encuentra en empresas de logística y almacenamiento donde la implementación de Lean-TPM en transportadores, sistemas de picking y equipos de carga permitió mejorar la eficiencia operativa. La combinación de mantenimiento preventivo con optimización del flujo de materiales redujo errores, minimizó tiempos de parada y mejoró la confiabilidad de los activos generando un retorno medible sobre la inversión en mejoras (Liker, 2004; Nakajima, 1988).

Los casos de estudio muestran que la clave del éxito radica en adaptar las metodologías al contexto específico de cada empresa. La flexibilidad en la aplicación de los pilares de TPM y las herramientas Lean junto con el compromiso del personal y la medición constante del desempeño permite lograr mejoras sostenibles en productividad, confiabilidad y competitividad independientemente del sector industrial o de servicios (García & Martínez, 2021).

6.6 Revisión de estudios similares

6.6.1 Investigaciones recientes (2015-2025) sobre TPM en servicios y perforación

6.6.1.1 Implementación estratégica de TPM en manufactura CNC

Un estudio publicado por Rahman (2020) analizó la implementación del TPM en una empresa dedicada a la manufactura con máquinas CNC. La investigación se enfocó en un plan estratégico de mantenimiento que incluyó mantenimiento autónomo, planificado y mejora enfocada. Los resultados mostraron una reducción significativa en las fallas de los equipos y una mejora en la disponibilidad de los activos. Además se documentó un incremento aproximado del 5 % en la Efectividad Global de los Equipos (OEE) evidenciando cómo la aplicación sistemática del TPM impacta directamente en la productividad y confiabilidad de las operaciones.

6.6.1.2 Influencia de los pilares de TPM en la industria química

Un estudio publicado por Agung y Siahaan (2019) de caso en el sector químico evaluó la relación entre las prácticas de TPM y la optimización del OEE. La investigación determinó que los pilares con mayor impacto fueron el mantenimiento planificado y el mantenimiento de calidad. A través de un análisis de encuestas y datos operativos se concluyó que estos elementos son esenciales para garantizar un flujo productivo estable, reducir paradas no programadas y aumentar la competitividad del sector químico.

6.6.1.3 Optimización de factores de OEE en la industria farmacéutica

Un estudio publicado por Okpala y Mgbemena (2020) examinó la aplicación del TPM en una empresa farmacéutica enfocándose en la optimización de los factores de OEE: disponibilidad, rendimiento y calidad. El análisis reveló que antes de implementar TPM la empresa presentaba deficiencias significativas en disponibilidad y rendimiento. Tras aplicar las metodologías de mejora continua se lograron avances sustanciales en la confiabilidad de los equipos y en la estabilidad de los procesos lo que validó la pertinencia del TPM en industrias altamente reguladas y críticas como la farmacéutica.

6.6.1.4 Aplicación del TPM en equipos de perforación petrolera

Se publicó un estudio de Marcano y Martínez (2024) sobre la simulación y aplicación de un sistema TPM en equipos eléctricos de perforación de pozos petroleros. Mediante el uso de modelos de dinámica de sistemas se identificaron los principales puntos de falla y se diseñaron estrategias de mantenimiento basadas en los pilares del TPM. Los resultados demostraron una mejora notable en la disponibilidad de los equipos, reducción de paradas imprevistas y disminución de costos asociados al mantenimiento correctivo validando la viabilidad del TPM en servicios de perforación de alta criticidad.

6.6.1.5 Barreras y facilitadores en la implantación de TPM

Una revisión académica realizada por Marín-García y Mateo Martínez (2013) analizó las principales barreras y facilitadores que influyen en la implantación de TPM en sectores industriales y de servicios. Entre los obstáculos identificados se encuentran la resistencia al cambio, la falta de capacitación del personal y limitaciones presupuestales. Por otro lado los factores que favorecen la implantación exitosa incluyen el liderazgo comprometido, la formación continua y la existencia de indicadores claros de desempeño. El estudio ofrece una visión integral sobre los retos prácticos del TPM y sus condiciones de éxito en distintos contextos.

6.6.2 Investigaciones recientes sobre Lean Manufacturing en mantenimiento

6.6.2.1 Implementación de prácticas de mantenimiento Lean en Facility Management

Un estudio realizado por Fernandes et al. (2024) en el Departamento de Gestión de Infraestructuras de una empresa de Facility Management en Portugal analizó la implementación de prácticas de mantenimiento Lean para mejorar la gestión de la información en los procesos de Operaciones y Mantenimiento. Se identificaron debilidades en la transparencia de los procesos y una alta proporción de órdenes de trabajo correctivas. La aplicación de herramientas Lean permitió definir procesos, identificar ineficiencias y seleccionar prácticas para la reducción de desperdicios mejorando la sostenibilidad del proceso.

Este estudio se llevó a cabo en el contexto de la relación entre la Industria 4.0 y las prácticas de Facility Management (FM). Se utilizó la metodología de Mantenimiento Lean para definir procesos, identificar ineficiencias y seleccionar herramientas de LM para la reducción de desperdicios. Los resultados sugieren que la metodología Lean contribuyó a la mejora de los procesos de gestión de la información en el área de Operaciones y Mantenimiento.

6.6.2.2 Aplicación de mantenimiento Lean en la industria azucarera

Un estudio realizado por Halilintar y Singgih (2024) en una fábrica de azúcar refinada en Indonesia evaluó el impacto de la implementación de prácticas de mantenimiento Lean en la reducción de costos. Se observó que mediante el uso de herramientas inteligentes los costos de mantenimiento se redujeron en un 4% y los tiempos de mantenimiento se aceleraron mejorando la eficiencia operativa en las fábricas de azúcar.

Este estudio se centró en mejorar la eficiencia y productividad en la industria azucarera refinada específicamente en Pabrik Gula Rafinasi (PGR). Se observó que las plantas de azúcar refinada a menudo luchan por mantener adecuadamente los equipos lo que impacta en el sector de procesamiento de materias primas. La implementación de prácticas de mantenimiento Lean resultó en una reducción significativa de los costos de mantenimiento y una mejora en la eficiencia operativa.

6.6.2.3 Integración de Lean Six Sigma con mantenimiento predictivo

Un artículo publicado en 2025 en Zenodo examina la integración de Lean Six Sigma con estrategias de mantenimiento proactivas como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y el Mantenimiento Productivo Total (TPM). La investigación destaca cómo esta combinación mejora la confiabilidad de los equipos, extiende la vida útil de los activos y optimiza la utilización de recursos contribuyendo a la excelencia en el mantenimiento.

La integración de Lean Six Sigma con estrategias de mantenimiento proactivas permite una mejora continua en la confiabilidad de los equipos y la optimización de los recursos. Esta combinación de metodologías contribuye a la excelencia en el mantenimiento extendiendo la vida útil de los activos y optimizando la utilización de recursos.

6.6.2.4 Implementación de mantenimiento Lean en la construcción en Qatar

En el sector de la construcción en Qatar un estudio realizado por Masoud et al. (2023) implementó prácticas de mantenimiento preventivo combinadas con metodologías Lean y TPM. Los resultados mostraron una reducción significativa de desperdicios y una mejora en la sostenibilidad del proceso al optimizar la gestión de información y los tiempos de respuesta en el mantenimiento.

Este estudio se centró en analizar un proceso de mantenimiento preventivo en una empresa de construcción en Qatar e implementar métodos de mantenimiento Lean con TPM para mejorar el proceso. La implementación de estas metodologías permitió minimizar los desperdicios y mejorar la sostenibilidad del proceso de mantenimiento.

6.6.2.5 Efectividad del mantenimiento predictivo en la reducción de tiempos de inactividad

Un estudio publicado en 2025 en LeanTech analiza la efectividad del mantenimiento predictivo en la reducción de tiempos de inactividad no planificados. La investigación destaca cómo la implementación de mantenimiento predictivo permite a los fabricantes reducir los tiempos de inactividad, reducir costos, extender la vida útil de los activos y mejorar el retorno de inversión mediante el uso de datos en tiempo real y herramientas inteligentes.

El mantenimiento predictivo respaldado por tecnologías avanzadas como IoT y análisis de datos en tiempo real permite a los fabricantes anticipar fallas y programar mantenimientos de manera más eficiente. Esto no solo reduce los tiempos de inactividad sino que también optimiza los costos de mantenimiento y mejora la eficiencia operativa.

6.6.3 Aplicación combinada TPM-Lean en sectores energéticos y de servicios técnicos

6.6.3.1 Integración de TPM y Lean en el sector energético

La combinación de Total Productive Maintenance (TPM) y Lean Manufacturing ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar la eficiencia operativa en el sector energético. Un estudio realizado en una planta de distribución eléctrica integró prácticas de TPM con herramientas Lean como el mapeo de flujo de valor (VSM) y la metodología 5S. Los resultados indicaron una mejora del 18% en la disponibilidad de equipos y una reducción del 12% en los tiempos de inactividad no planificados. Esta integración permitió una gestión más eficiente de los recursos y una mayor fiabilidad en el suministro energético (Harsanto, 2023).

6.6.3.2 Aplicación de TPM y Lean en terminales de petróleo

En el sector de petróleo y gas la implementación conjunta de TPM y Lean ha sido efectiva en la optimización de las operaciones de mantenimiento. Un caso de estudio en una terminal de petróleo mostró que la adopción de prácticas como el mantenimiento autónomo, la estandarización de procesos y la eliminación de desperdicios mediante 5S condujo a una mejora del 15% en la eficiencia del mantenimiento. Además se observó un aumento en la moral del personal y una mayor seguridad en el lugar de trabajo (Palmeira et al., 2015).

6.6.3.3 Impacto de la digitalización en la integración TPM-Lean

La incorporación de tecnologías digitales en la combinación de TPM y Lean ha potenciado significativamente los resultados operativos. Un análisis de 112 artículos académicos reveló que la integración de modelos digitales impulsados por inteligencia artificial (IA), aprendizaje automático (ML) y sistemas de mantenimiento computarizados (CMMS) con prácticas de TPM y Lean ha mejorado la disponibilidad de equipos y reducido los costos operativos. Los estudios de caso en sectores como la automoción y la industria alimentaria evidencian que la digitalización facilita la

implementación de mantenimiento predictivo y mejora la toma de decisiones basada en datos (Shamim, 2025).

6.6.3.4 Desafíos y barreras en la implementación combinada

A pesar de los beneficios la implementación conjunta de TPM y Lean enfrenta varios desafíos. Un estudio de revisión identificó barreras como la resistencia al cambio organizacional, la falta de capacitación del personal y la integración de sistemas tradicionales con tecnologías digitales. Para superar estos obstáculos se recomienda un liderazgo comprometido, una formación continua del personal y una planificación estratégica que considere las particularidades de cada sector (García-Arroyo & Puig, 2017).

6.6.3.5 Casos prácticos y resultados medibles

Diversos estudios de caso han documentado mejoras significativas al aplicar la combinación de TPM y Lean. Por ejemplo en una planta de fabricación de repuestos la integración de estas metodologías resultó en un aumento del 11% en la efectividad general del

equipo (OEE) y una

mejora del 17% en la eficiencia de los procesos de valor agregado. Estos resultados destacan la eficacia de la combinación TPM-Lean en la mejora continua y la optimización de procesos industriales (Gomaa, 2025).

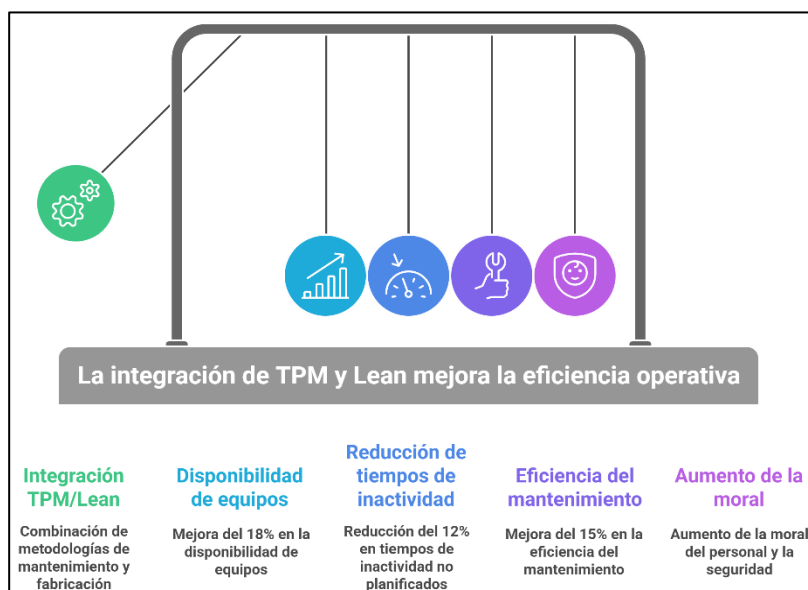


Figura 7: Integración de TPM y Lean

Fuente: Elaboración propia

6.6.3.6 Estudios de mantenimiento industrial vinculados a la gestión de recursos hídricos y desarrollo regional

El estudio desarrollado por Reyes Martínez y Castro Ramírez (2023) analiza la gestión del agua y la conservación de las obras de riego en el Distrito de Riego 011 ubicado en el estado de Guanajuato, México desde una perspectiva territorial y de sostenibilidad. La investigación se centra en cómo las condiciones de operación, conservación y uso de la infraestructura hidráulica influyen en la disponibilidad del recurso hídrico para actividades productivas regionales particularmente en el sector agrícola.

Los autores identifican que la conservación deficiente de la infraestructura de riego genera problemáticas como pérdidas de agua, disminución de la eficiencia operativa de los sistemas y conflictos en la distribución del recurso. El estudio pone de manifiesto que la gestión técnica y organizativa de las obras hidráulicas es un elemento clave para asegurar la continuidad del servicio y el aprovechamiento eficiente del agua en el ámbito regional.

La investigación resalta que la sostenibilidad de los sistemas de riego no depende únicamente de la disponibilidad natural del recurso sino de la capacidad institucional y operativa para conservar y operar adecuadamente la infraestructura existente. Esta condición tiene implicaciones directas en el desarrollo regional ya que la eficiencia de los sistemas hidráulicos impacta la productividad, la estabilidad económica local y el uso racional del agua.

Este estudio resulta relevante porque evidencia que la gestión y conservación de infraestructura hídrica constituye un factor estratégico para el desarrollo regional lo cual es congruente con la necesidad de implementar modelos estructurados de mantenimiento en equipos y sistemas asociados al suministro y aprovechamiento del agua. Aunque el estudio se sitúa en el contexto de obras de riego, sus hallazgos refuerzan la importancia de considerar el mantenimiento como un elemento

transversal para mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad de los servicios vinculados al recurso hídrico.

6.6.4 Identificación de brechas de conocimiento que justifican la investigación

A pesar de los avances en la literatura sobre TPM y Lean persisten brechas significativas en su aplicación a servicios especializados y de perforación de pozos donde la criticidad de los equipos y la variabilidad operativa son altas. La mayoría de los estudios existentes se centran en industrias de manufactura o energía a gran escala dejando poco conocimiento sobre la adaptación de estas metodologías en contextos de campo donde el mantenimiento es más complejo, los recursos son limitados y la logística de los equipos es variable (Hassan & Abdelrahman, 2024). Esta limitación evidencia la necesidad de investigar cómo las prácticas de TPM y Lean pueden aplicarse efectivamente en servicios móviles y equipos críticos considerando las particularidades del entorno operativo.

Otra brecha relevante se encuentra en la integración de herramientas digitales y mantenimiento predictivo con prácticas de TPM y Lean. Aunque la digitalización industrial ha demostrado mejoras en eficiencia y confiabilidad pocos estudios documentan metodologías estandarizadas que combinen sensorización, monitoreo en tiempo real y análisis de datos con estrategias de mejora continua. En servicios de perforación esta limitación es crítica ya que la falta de información precisa sobre el estado de los equipos puede generar fallas imprevistas y pérdidas operativas significativas (Shamim, 2025).

La mayoría de los indicadores de desempeño evaluados en la literatura se centran en métricas generales como OEE, MTBF y MTTR. Sin embargo hay escasez de estudios que integren indicadores de eficiencia con sostenibilidad, costos operativos y seguridad, especialmente en empresas medianas o pequeñas. Esta brecha limita la capacidad de establecer un modelo integral de medición que considere la

productividad, confiabilidad, costos y seguridad en conjunto, elementos fundamentales para justificar mejoras estratégicas en la gestión del mantenimiento (Wibowo & Simatupang, 2019).

Los estudios existentes también muestran una falta de investigaciones longitudinales y casos prácticos documentados sobre la implementación conjunta de TPM y Lean en entornos de alta criticidad. La mayoría de las investigaciones se limitan a análisis a corto plazo o simulaciones de laboratorio sin evidenciar el impacto sostenido de estas metodologías en la eficiencia, disponibilidad y confiabilidad de los equipos. Esto es especialmente relevante en servicios de perforación donde los tiempos de parada no planificados pueden tener consecuencias económicas y operativas críticas (Fernandes et al., 2020; Gómez, 2015).

La capacitación y gestión del cambio constituyen un factor crítico poco abordado en la literatura. La resistencia al cambio por parte del personal operativo, la falta de liderazgo comprometido y la escasa estandarización de procesos limitan la efectividad de TPM y Lean en servicios técnicos. Estudios muestran que cuando no se consideran estos factores humanos y organizativos la implementación puede fracasar aun cuando las herramientas técnicas sean correctas. Por ello se requiere investigación aplicada que no solo evalúe herramientas de mantenimiento sino también estrategias de formación, liderazgo y adaptación cultural para maximizar los beneficios de la integración TPM-Lean (García-Arroyo & Puig, 2017; Hassan & Abdelrahman, 2024).

Finalmente existe una brecha en la adaptación de prácticas internacionales a contextos locales y específicos como empresas medianas en México o Latinoamérica. La mayoría de los casos de estudio provienen de plantas industriales de países desarrollados lo que genera la necesidad de investigaciones que validen la efectividad de TPM y Lean en entornos con limitaciones económicas, logísticas y de infraestructura garantizando que los resultados sean transferibles y aplicables a servicios técnicos locales (Shamim, 2025; Hassan & Abdelrahman, 2024).

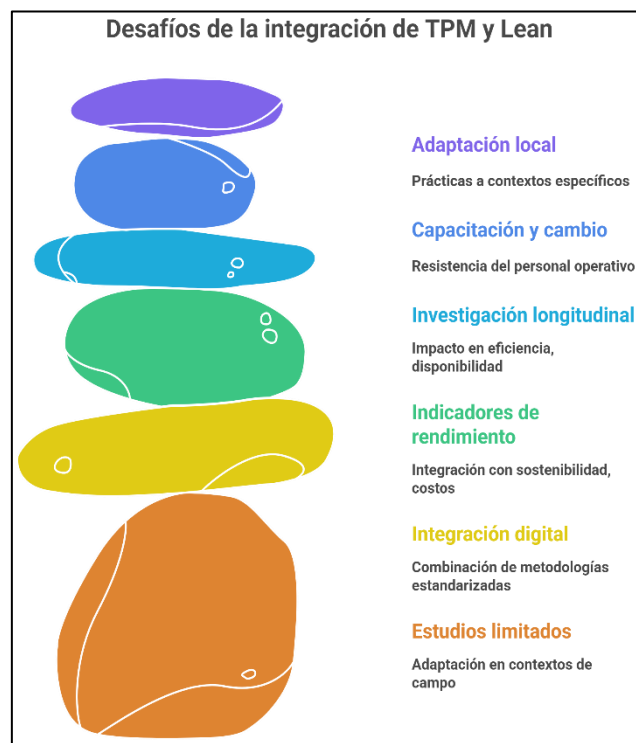


Figura 8: Desafíos de la Integración de TPM y Lean

Fuente: *Elaboración propia*

6.7 Marco Conceptual

6.7.1 Definición de Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El Mantenimiento Productivo Total (TPM por sus siglas en inglés Total Productive Maintenance) es una metodología integral de gestión que busca maximizar la eficiencia de los equipos y la productividad de los procesos mediante la participación activa de todos los miembros de la organización. A diferencia de los sistemas tradicionales de mantenimiento que suelen estar centralizados en el área técnica el TPM involucra de manera directa a los operarios en actividades de inspección, limpieza y cuidado básico de la maquinaria promoviendo una cultura organizacional en la que cada trabajador asume la responsabilidad del estado de los equipos. Esto

permite garantizar la confiabilidad, disponibilidad y prolongación del ciclo de vida útil de los activos productivos (Herrera & García, 2020).

El TPM se caracteriza por su enfoque proactivo y preventivo el cual busca reducir al mínimo las pérdidas de producción y eliminar las causas raíz de los problemas recurrentes en las operaciones. Su fundamento central es la identificación y eliminación de las seis grandes pérdidas que afectan la eficiencia de los equipos: fallas inesperadas, tiempos de preparación y ajustes, paradas menores, disminución de la velocidad, defectos de calidad y pérdidas en el arranque de producción. Para lograrlo se apoya en ocho pilares de implementación entre los que destacan la mejora enfocada, el mantenimiento autónomo, el mantenimiento planificado, la capacitación y desarrollo de competencias, el control temprano en el diseño de equipos, la gestión de la calidad, la seguridad y medio ambiente así como la extensión del TPM a las áreas administrativas con el fin de crear un sistema integral y sostenible de gestión (Nakajima, 1988).

Más allá de ser un conjunto de prácticas técnicas el TPM constituye una filosofía cultural y organizacional que fomenta el trabajo en equipo, la disciplina operativa y la mejora continua. Su aplicación implica transformar la mentalidad de los empleados y de la empresa hacia un compromiso con la eficiencia, el orden y la calidad. A diferencia de los enfoques convencionales de mantenimiento que generalmente se limitan a corregir fallas o planificar intervenciones el TPM promueve la corresponsabilidad de los trabajadores en el cuidado de los equipos generando mayor sentido de pertenencia y reduciendo la dependencia exclusiva de los departamentos especializados de mantenimiento (Ruiz de Chávez, 2019).

El TPM está alineado con los principios de la producción ajustada (Lean Manufacturing) ya que ambos modelos comparten el objetivo de eliminar desperdicios y optimizar los recursos disponibles. Esta integración convierte al TPM en un factor estratégico para las organizaciones que buscan alcanzar altos niveles

de competitividad, eficiencia energética y sostenibilidad en sus operaciones. Al reducir fallas, evitar reprocesos y optimizar la utilización de los activos se generan beneficios económicos y medioambientales que permiten a las empresas adaptarse a las exigencias del mercado global y a la vez cumplir con criterios de sustentabilidad (AENOR, 2018a).

6.7.2 Definición de Lean Manufacturing

El Lean Manufacturing es una filosofía de gestión enfocada en la eliminación sistemática de desperdicios dentro de los procesos productivos con el propósito de incrementar el valor para el cliente utilizando la menor cantidad posible de recursos. Esta metodología se centra en identificar y reducir todo aquello que no agrega valor al producto o servicio tales como tiempos de espera, inventarios excesivos, transporte innecesario, movimientos improductivos, sobreproducción, defectos y procesos redundantes. Su objetivo principal es lograr una producción ágil, flexible y eficiente que se adapte rápidamente a las necesidades del mercado (Womack, J. P. et al., 2003).

El origen del Lean Manufacturing se encuentra en el Sistema de Producción de Toyota (TPS, por sus siglas en inglés) desarrollado en Japón durante la segunda mitad del siglo XX. Este modelo surgió como respuesta a las limitaciones de recursos y la necesidad de competir con mayor eficiencia frente a la producción en masa estadounidense. Entre sus principios fundamentales se destacan el mejoramiento continuo (kaizen), el respeto por las personas, la estandarización de procesos y el enfoque hacia la calidad desde la primera etapa de producción. Con el tiempo su aplicación trascendió la industria automotriz extendiéndose a múltiples sectores productivos y de servicios (Ohno, 1991).

El enfoque Lean no se limita únicamente a la eficiencia operativa sino que representa una cultura organizacional orientada a la excelencia y al aprendizaje continuo. Su implementación implica la participación activa de todos los niveles

jerárquicos de la empresa quienes colaboran en la detección de problemas, el análisis de causas raíz y la generación de soluciones prácticas. De esta manera Lean Manufacturing no solo optimiza la utilización de los recursos materiales y humanos sino que también promueve una mentalidad de mejora permanente y de responsabilidad compartida (Sánchez & Pérez, 2017).

Lean se caracteriza por la aplicación de herramientas y técnicas específicas que facilitan la identificación y eliminación de desperdicios tales como las 5S, Kanban, Just in Time (JIT), Poka Yoke, Value Stream Mapping (VSM), entre otras. Estas herramientas permiten visualizar y controlar el flujo de los procesos, reducir variaciones, mejorar la calidad del producto y acortar los tiempos de entrega. El resultado es un sistema productivo más competitivo enfocado en la satisfacción del cliente y en la reducción continua de costos (Moya, 2020).

6.7.3 Efectividad Global de los Equipos (OEE)

La Efectividad Global de los Equipos (OEE por sus siglas en inglés Overall Equipment Effectiveness) es un indicador clave de desempeño que mide la eficiencia real de los equipos productivos considerando tres dimensiones fundamentales: disponibilidad, rendimiento y calidad. Este indicador permite conocer de manera objetiva el nivel de utilización de la maquinaria en comparación con su capacidad máxima teórica identificando las pérdidas que afectan la productividad. De esta manera el OEE se convierte en una herramienta esencial para diagnosticar el estado operativo de los equipos y establecer estrategias de mejora (Nakajima, 1988).

El cálculo del OEE se basa en la multiplicación de sus tres componentes: la disponibilidad que mide el tiempo efectivo de operación frente al tiempo planificado; el rendimiento que refleja la velocidad real del equipo en comparación con su velocidad ideal; y la calidad que determina la proporción de productos buenos sobre el total fabricado. Un valor de OEE cercano al 100% indica un uso casi perfecto de

los equipos mientras que valores bajos evidencian la existencia de pérdidas relacionadas con fallas, paradas, defectos o ineficiencias en el proceso (Muchiri & Pintelon, 2008).

Este indicador es ampliamente utilizado dentro de la filosofía del Mantenimiento Productivo Total (TPM) ya que permite identificar de manera sistemática las seis grandes pérdidas que afectan la operación de los equipos: averías, tiempos de preparación, paradas menores, reducciones de velocidad, defectos de calidad y pérdidas en el arranque. Al cuantificar estas pérdidas el OEE se convierte en una métrica estratégica para priorizar acciones de mejora, implementar mantenimientos planificados y fomentar la participación activa de los operarios en el cuidado de los activos productivos (Herrera & García, 2020).

El uso del OEE no se limita únicamente a la medición de la eficiencia sino que constituye una herramienta de gestión estratégica ya que proporciona información precisa para la toma de decisiones. Su aplicación facilita la detección de cuellos de botella en los procesos, promueve la estandarización de actividades y permite evaluar el impacto de las iniciativas de mejora continua. Además el OEE está alineado con enfoques como el Lean Manufacturing en tanto que ambos comparten el propósito de eliminar desperdicios y maximizar el valor agregado en las operaciones (Rodríguez & López, 2019).

6.7.4 Mejora continua (Kaizen)

La mejora continua conocida por el término japonés Kaizen es una filosofía de gestión que busca el perfeccionamiento progresivo de los procesos productivos, administrativos y organizacionales a través de pequeños cambios sostenidos en el tiempo. Este enfoque parte de la premisa de que siempre existen oportunidades de mejora y que incluso los procesos considerados eficientes pueden optimizarse mediante la eliminación de desperdicios, la reducción de variabilidad y el incremento de la calidad. El Kaizen se caracteriza por ser una estrategia participativa en la cual

los trabajadores de todos los niveles jerárquicos contribuyen activamente en la identificación de problemas y en la generación de soluciones prácticas (Imai, 2012).

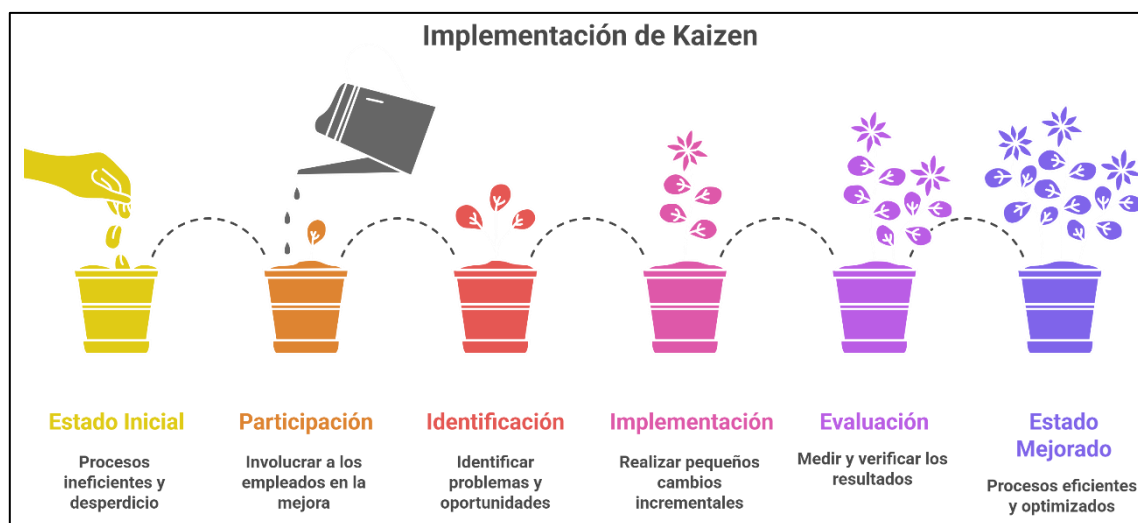


Figura 9: Implementación de Kaizen

Fuente: *Elaboración propia*

La filosofía Kaizen surgió en Japón tras la Segunda Guerra Mundial como respuesta a la necesidad de reconstruir la industria bajo condiciones de escasez de recursos y alta competencia global. Sus principios están basados en la disciplina, el trabajo en equipo y la orientación hacia la calidad consolidándose como una herramienta fundamental en el Sistema de Producción de Toyota. A diferencia de enfoques occidentales centrados en innovaciones radicales o grandes inversiones en tecnología el Kaizen enfatiza que la verdadera transformación se logra mediante mejoras incrementales y cotidianas realizadas directamente en el lugar donde ocurren los procesos (Ohno, 1991).

Uno de los pilares del Kaizen es la participación del personal en la resolución de problemas ya que se reconoce que los trabajadores que ejecutan las tareas tienen un conocimiento profundo de las ineficiencias y limitaciones del proceso. Esta participación genera sentido de pertenencia, compromiso organizacional y un flujo

constante de ideas que fortalecen la competitividad de la empresa. El Kaizen se apoya en herramientas como los círculos de calidad, el ciclo PDCA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar) y las 5S que permiten estructurar y dar seguimiento a las iniciativas de mejora (Sánchez & Pérez, 2017).

El Kaizen no solo busca beneficios productivos sino que también tiene un impacto cultural y organizacional al fomentar una mentalidad de cambio continuo y resistencia a la complacencia. En este sentido se convierte en una estrategia que integra aspectos técnicos y humanos generando entornos de trabajo más ordenados, seguros y eficientes. Su aplicación en conjunto con metodologías como TPM y Lean Manufacturing potencia la capacidad de las organizaciones para eliminar desperdicios, reducir costos, aumentar la satisfacción del cliente y alcanzar estándares más elevados de calidad y sostenibilidad (Moya, 2020).

6.7.5 Productividad en servicios técnicos

La productividad en los servicios técnicos se entiende como la capacidad de una organización para generar valor mediante la utilización eficiente de sus recursos humanos, materiales y tecnológicos garantizando al mismo tiempo la satisfacción del cliente y la calidad del servicio prestado. A diferencia de los procesos productivos industriales donde la productividad se mide generalmente en unidades físicas producidas por unidad de tiempo, en los servicios técnicos la medición se enfoca en la eficiencia operativa, la confiabilidad de los equipos, los tiempos de respuesta y la reducción de errores o retrabajos. Por ello en este sector la productividad no solo depende de la cantidad de trabajo realizado sino también de la efectividad, la oportunidad y la calidad con la que se ejecuta (Camisón, 2016).

En los servicios técnicos el conocimiento especializado y la experiencia del personal son factores críticos que influyen directamente en la productividad. La capacidad de diagnosticar problemas, ejecutar reparaciones, realizar mantenimientos preventivos o correctivos y aplicar soluciones innovadoras determina la eficiencia global de la

operación. A esto se suma la importancia de herramientas de gestión y control como sistemas de planificación de mantenimiento, indicadores de desempeño, registros de incidencias y softwares de seguimiento de equipos que permiten optimizar recursos, reducir tiempos improductivos y minimizar el riesgo de fallas recurrentes (Martínez & Morales, 2020).

Otro aspecto relevante de la productividad en los servicios técnicos es la gestión integral de los procesos y la estandarización de procedimientos que permite disminuir la variabilidad y garantizar resultados consistentes. La documentación de protocolos, la capacitación continua del personal y la implementación de prácticas de mejora continua son elementos esenciales para incrementar la eficiencia sin comprometer la calidad del servicio. Esto genera beneficios directos tanto en costos operativos como en la confiabilidad de los equipos al asegurar que los procedimientos se ejecuten de manera uniforme y con menores probabilidades de error humano (Salgado et al., 2022).

La productividad en este sector se beneficia de la aplicación de metodologías de mejora de procesos como Lean Manufacturing y TPM que proporcionan herramientas para la identificación y eliminación de desperdicios, la optimización del flujo de trabajo y la maximización de la eficiencia de los equipos. La integración de estas metodologías permite una gestión más proactiva en la que se previenen fallas, se reducen tiempos de inactividad y se promueve la sustentabilidad mediante la reducción de recursos desperdiciados y el menor impacto ambiental de las operaciones (Herrera & García, 2020).

6.7.6 Confiabilidad y disponibilidad

La confiabilidad se define como la capacidad de un equipo, sistema o proceso para desempeñar su función requerida bajo condiciones específicas durante un período determinado sin presentar fallas. Es un concepto fundamental en la ingeniería de mantenimiento ya que permite prever el comportamiento de los activos y planificar estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo que aseguren su correcto funcionamiento. La



Figura 10: Dimensiones de Confiabilidad y Disponibilidad

Fuente: Elaboración propia

La confiabilidad no solo se mide por la frecuencia de fallas sino también por la probabilidad de que un equipo opere de manera continua y cumpla con los estándares de calidad establecidos lo que contribuye directamente a la eficiencia operativa y a la reducción de costos por interrupciones no planificadas (Dhillon, 2002).

La disponibilidad se refiere al tiempo en el que un equipo o sistema está operativo y listo para ser utilizado en relación con el tiempo total planificado para su uso. La disponibilidad combina elementos de confiabilidad y mantenimiento considerando tanto el tiempo de funcionamiento efectivo como los tiempos de reparación o mantenimiento programado. Un equipo altamente confiable que requiere de largos periodos de mantenimiento correctivo puede presentar una baja disponibilidad

mientras que un equipo menos confiable con reparaciones rápidas y eficientes puede alcanzar altos niveles de disponibilidad (AENOR, 2018b).

Ambos conceptos son complementarios y críticos para la gestión de activos en cualquier organización que dependa de equipos técnicos. La confiabilidad permite reducir la ocurrencia de fallas mientras que la disponibilidad asegura que los equipos estén operativos cuando se necesiten. La combinación de estos indicadores permite calcular métricas estratégicas como la Efectividad Global de los Equipos (OEE) la cual integra la disponibilidad, el rendimiento y la calidad, y proporciona información objetiva sobre el desempeño de los activos productivos (Nakajima, 1988).

La gestión integral de la confiabilidad y la disponibilidad requiere de la implementación de sistemas de monitoreo, análisis de datos históricos de fallas, técnicas de diagnóstico y mantenimiento basado en condición. Estas prácticas permiten identificar patrones de fallas, anticipar problemas y ejecutar acciones correctivas de manera eficiente. Integradas con metodologías como TPM y Lean Manufacturing, la confiabilidad y disponibilidad se convierten en pilares estratégicos para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y garantizar servicios técnicos de alta calidad y confiabilidad (Herrera & García, 2020).

6.7.7 Concepto de Servicios industriales aplicado a perforación de pozos

Los servicios industriales se refieren a actividades especializadas que apoyan la operación, mantenimiento y optimización de procesos productivos en sectores industriales proporcionando soporte técnico, operativo y logístico para garantizar la continuidad y eficiencia de los sistemas. A diferencia de los productos tangibles los servicios industriales se caracterizan por su intangibilidad, simultaneidad en producción y consumo, heterogeneidad y dependencia de la experiencia del personal técnico. Estos servicios incluyen mantenimiento de maquinaria, calibración de equipos, supervisión de procesos, consultoría técnica y asistencia en la

implementación de metodologías de mejora de la productividad y confiabilidad (Camisón, 2016).

En la perforación de pozos los servicios industriales adquieren un papel crítico, ya que esta actividad depende de equipos altamente especializados y sometidos a condiciones de operación severas como altas presiones, profundidades extremas y ambientes adversos. Los servicios técnicos en este sector incluyen la instalación y mantenimiento de equipos de perforación, control de sistemas hidráulicos y eléctricos, supervisión de seguridad industrial, aseguramiento de la calidad de los procesos y gestión de materiales y repuestos críticos. La adecuada prestación de estos servicios garantiza la continuidad operativa, la eficiencia de los equipos y la reducción de riesgos asociados a fallas o accidentes (Martínez & Morales, 2020).

Los servicios industriales aplicados a perforación también integran estrategias de gestión y optimización de procesos tales como Lean Manufacturing, TPM y metodologías de mejora continua. Estas herramientas permiten reducir desperdicios, mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, estandarizar procedimientos y minimizar tiempos improductivos. De esta forma los servicios no solo cumplen un papel de soporte operativo sino que se convierten en un factor estratégico para la competitividad, la sustentabilidad y la seguridad de las operaciones de perforación (Salgado et al., 2022).

La calidad y efectividad de los servicios industriales en perforación de pozos depende de la capacidad del personal técnico y de la planificación de las actividades de mantenimiento y supervisión. La formación continua, el cumplimiento de normas de seguridad y medio ambiente, y la utilización de indicadores de desempeño como OEE y confiabilidad son elementos esenciales para evaluar y mejorar los servicios prestados. Esto asegura que los equipos críticos operen de manera óptima, se reduzcan los tiempos de inactividad y se aumente la eficiencia global del proceso de perforación (García-Alcaraz, 2019).

Los servicios industriales aplicados a la perforación de pozos no solo se enfocan en la eficiencia técnica sino también en la sustentabilidad y responsabilidad ambiental mediante la correcta gestión de residuos, consumo de energía y reducción de impactos negativos en el entorno. La integración de prácticas de mantenimiento preventivo y predictivo con técnicas de mejora continua asegura que los procesos sean confiables, seguros y sostenibles contribuyendo al desarrollo eficiente y responsable de las actividades industriales en este sector (Herrera & García, 2020).

6.7.8 Definiciones complementarias: calidad, eficiencia, eficacia

6.7.8.1 Calidad

La calidad se define como el grado en que un producto, servicio o proceso cumple con los requisitos establecidos y satisface las expectativas del cliente. La calidad no solo implica la conformidad con especificaciones técnicas sino también la consistencia, confiabilidad y desempeño a lo largo del tiempo. La gestión de la calidad se centra en prevenir defectos, reducir variabilidad en los procesos y asegurar que los resultados sean confiables y repetibles. La calidad es un componente crítico para la competitividad de las organizaciones ya que productos o servicios de alta calidad generan satisfacción, fidelización del cliente y menores costos asociados a retrabajos o desperdicios (Camisón, 2016).

6.7.8.2 Eficiencia

La eficiencia se refiere a la relación entre los recursos utilizados y los resultados obtenidos buscando maximizar la producción o el valor generado con el mínimo consumo de tiempo, energía, materiales o costos. La eficiencia se traduce en la optimización de los recursos disponibles, reducción de tiempos improductivos y ejecución de tareas de manera ágil y coordinada. A diferencia de la eficacia que se centra en alcanzar los objetivos, la eficiencia evalúa cómo se utilizan los recursos para lograr dichos objetivos lo que permite identificar oportunidades de mejora y reducción de desperdicios (Martínez & Morales, 2020).

6.7.8.3 Eficacia

La eficacia por su parte se refiere al grado en que se logran los objetivos o metas establecidas independientemente de los recursos utilizados. La eficacia se manifiesta en la capacidad de cumplir con los plazos, especificaciones y estándares de desempeño requeridos asegurando que los resultados finales correspondan con lo planificado. Una operación puede ser eficaz al cumplir sus objetivos pero si para ello requiere un consumo excesivo de recursos su eficiencia será baja. Por ello la combinación de eficacia y eficiencia es fundamental para una gestión óptima de los procesos (Salgado et al., 2022).

6.8 Sustentabilidad y Economía Circular en la Perforación de Pozos

6.8.1 Sustentabilidad como enfoque estratégico en los servicios de perforación

La sustentabilidad en los servicios de perforación de pozos debe entenderse como un enfoque integral que articula la eficiencia operativa, el uso responsable de los recursos y la viabilidad económica de las operaciones. La sustentabilidad no se limita al cumplimiento ambiental sino que se vincula directamente con la continuidad del servicio, la confiabilidad de los equipos y la capacidad de atender de manera estable las necesidades de abastecimiento de agua en contextos regionales donde este recurso es estratégico (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

A diferencia de otros sectores productivos los servicios de perforación operan bajo condiciones técnicas y ambientales variables con un alto consumo energético y una fuerte dependencia del desempeño de equipos especializados. La sustentabilidad adquiere un carácter operativo ya que la ineficiencia técnica, las fallas recurrentes o la mala gestión de los activos físicos generan impactos económicos y ambientales simultáneos afectando tanto a la empresa prestadora del servicio como a las

actividades productivas que dependen del acceso al agua (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020).

Diversos estudios sobre infraestructura y servicios básicos coinciden en que la sustentabilidad operativa se fortalece cuando las organizaciones incorporan criterios de gestión de activos, planeación del mantenimiento y mejora continua en sus procesos clave. En los servicios de perforación esta integración permite reducir desperdicios, optimizar el uso de recursos técnicos y prolongar la vida útil de los equipos lo que contribuye a una operación más eficiente y alineada con los principios del desarrollo sostenible (International Organization for Standardization [ISO], 2014).

La sustentabilidad en perforación de pozos debe abordarse como una estrategia de gestión en la que el mantenimiento, la eficiencia operativa y la gestión del recurso hídrico se articulan para garantizar la continuidad del servicio y minimizar impactos negativos en el entorno. Este enfoque resulta fundamental para asegurar que las operaciones de perforación contribuyan al desarrollo regional al fortalecer la disponibilidad del agua y la estabilidad de las actividades económicas asociadas (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018; Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020).

6.8.2 Enfoque tridimensional de la sustentabilidad en los servicios de perforación de pozos

La sustentabilidad en los servicios de perforación de pozos debe analizarse desde un enfoque tridimensional que integre de manera articulada las dimensiones ambiental, económica y social como parte del sistema operativo del servicio. La sustentabilidad no se limita a la mitigación de impactos ambientales sino que se relaciona con la eficiencia técnica de las operaciones, la gestión de los activos físicos y la capacidad de las organizaciones para sostener el servicio en el largo plazo especialmente en regiones donde el acceso al agua es un factor crítico para

el desarrollo productivo (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

Este enfoque tridimensional permite comprender que las decisiones técnicas adoptadas en la operación y el mantenimiento de los equipos de perforación generan efectos simultáneos sobre el entorno natural, los costos operativos y las condiciones socioeconómicas regionales. Por ello la sustentabilidad en los servicios de perforación debe concebirse como un criterio transversal de gestión donde la eficiencia operativa y la confiabilidad de los

equipos actúan como elementos estructurales para equilibrar las tres dimensiones del desarrollo sostenible (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

6.8.2.1 Gestión ambiental operativa en los servicios de perforación de pozos

La gestión ambiental operativa en los servicios de perforación de pozos se relaciona directamente con el uso eficiente del recurso hídrico, el consumo energético de la maquinaria y el control de impactos derivados de la operación de equipos especializados. Los impactos ambientales están estrechamente vinculados al desempeño técnico de los procesos ya que fallas mecánicas, fugas o prácticas de mantenimiento inadecuadas incrementan el consumo de recursos y generan

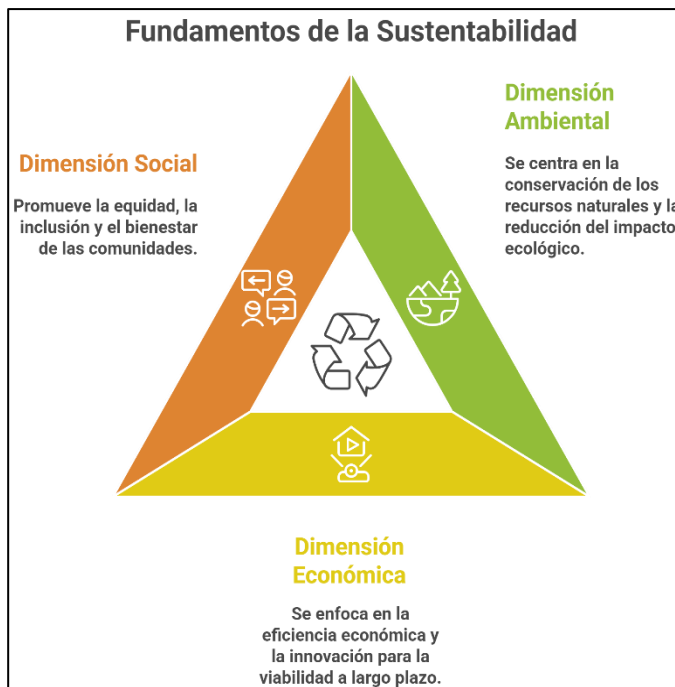


Figura 11: Fundamentos de la Sustentabilidad

Fuente: Elaboración propia

afectaciones acumulativas al entorno (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020).

La sustentabilidad ambiental se fortalece mediante la optimización de los procesos técnicos y la correcta gestión del mantenimiento de los equipos. La reducción de fallas no programadas y la mejora en la eficiencia del uso de maquinaria contribuyen a disminuir el consumo de combustibles, materiales y energía, lo que permite una operación ambientalmente responsable sin comprometer la continuidad del servicio de perforación (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2018).

6.8.2.2 Sustentabilidad económica y eficiencia operativa en los servicios de perforación

La sustentabilidad económica en los servicios de perforación de pozos se fundamenta en la capacidad de las organizaciones para garantizar la viabilidad financiera del servicio mediante una operación eficiente y técnicamente controlada. Los costos asociados a paros no programados, mantenimiento correctivo excesivo y baja disponibilidad de los equipos representan un riesgo significativo para la estabilidad económica de las empresas y para la continuidad del servicio en las regiones atendidas (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

La incorporación de prácticas orientadas a la eficiencia operativa y a la gestión de activos permite reducir desperdicios, optimizar el uso de recursos técnicos y prolongar la vida útil de los equipos. Estas acciones fortalecen la sustentabilidad económica al disminuir costos estructurales y mejorar la confiabilidad del servicio lo que resulta especialmente relevante en actividades vinculadas a la infraestructura hídrica y al desarrollo regional (International Organization for Standardization [ISO], 2014).

6.8.2.3 Impacto social y desarrollo regional asociado a los servicios de perforación

El impacto social de los servicios de perforación de pozos se manifiesta en su contribución a la seguridad hídrica y al desarrollo regional particularmente en zonas donde el acceso al agua es determinante para las actividades productivas y el bienestar de la población. La disponibilidad confiable del recurso hídrico influye directamente en la agricultura, la industria y el consumo doméstico por lo que la eficiencia y continuidad de los servicios de perforación adquieren un papel estratégico en el desarrollo territorial (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020).

La sustentabilidad social no se limita a los beneficios indirectos del servicio sino que depende de la capacidad técnica del sistema para garantizar operaciones seguras, estables y sostenibles en el tiempo. Una adecuada gestión del mantenimiento y de la operación de los equipos reduce interrupciones en el suministro de agua, fortaleciendo la resiliencia de las comunidades y contribuyendo a un desarrollo regional más equilibrado y sostenible (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

6.8.3 Economía circular aplicada al mantenimiento industrial

La economía circular aplicada al mantenimiento industrial representa un cambio de enfoque en la gestión de los activos físicos al priorizar la extensión de la vida útil de los equipos, la optimización del uso de recursos y la reducción de residuos generados durante la operación. Este enfoque adquiere relevancia estratégica ya que los equipos utilizados presentan altos costos de adquisición y operación, por lo que su conservación y aprovechamiento eficiente impactan directamente en la sustentabilidad del servicio (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2018).

La economía circular se materializa mediante prácticas orientadas a la prevención de fallas, la reutilización de componentes, la reparación planificada y la gestión adecuada de refacciones. Estas acciones permiten reducir la necesidad de sustituciones prematuras de equipos, disminuir el consumo de materiales y minimizar la generación de residuos técnicos alineando las actividades de mantenimiento con principios de eficiencia operativa y sostenibilidad (International Organization for Standardization [ISO], 2014).

En los servicios de perforación la aplicación de la economía circular a través del mantenimiento industrial contribuye a mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos al tiempo que reduce costos operativos y presiones sobre los recursos naturales. La gestión eficiente del ciclo de vida de los activos físicos se convierte así en un elemento clave para garantizar la continuidad del servicio y fortalecer la viabilidad económica de las operaciones en regiones donde la infraestructura hídrica es fundamental para el desarrollo productivo (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

La integración de la economía circular en el mantenimiento industrial permite que las organizaciones transiten de esquemas reactivos hacia modelos de gestión más sistemáticos y preventivos. Este enfoque favorece la toma de decisiones basada en el desempeño de los equipos y en la optimización de recursos contribuyendo a que el mantenimiento deje de ser una actividad correctiva para convertirse en un eje estratégico de sustentabilidad operativa y desarrollo regional (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2018; International Organization for Standardization [ISO], 2014).

6.8.4 Estrategias de eficiencia energética y gestión de residuos en el mantenimiento de servicios de perforación

6.8.4.1 Eficiencia energética como criterio de desempeño del mantenimiento

La eficiencia energética cuando se analiza desde el mantenimiento industrial constituye un criterio de desempeño que refleja el estado técnico y funcional de los equipos utilizados en la perforación de pozos. Un sistema de mantenimiento deficiente se traduce en pérdidas energéticas asociadas a fricción excesiva, desajustes mecánicos, fugas hidráulicas y operación fuera de parámetros óptimos, lo que incrementa el consumo energético y reduce la eficiencia global del servicio. Por ello la eficiencia energética no depende exclusivamente de la tecnología instalada sino de la calidad de la gestión del mantenimiento aplicada a los activos físicos (International Organization for Standardization [ISO], 2014).

En los servicios de perforación donde la maquinaria pesada y los sistemas electromecánicos operan de manera intensiva el mantenimiento orientado a la eficiencia energética permite identificar y corregir condiciones operativas que generan sobreconsumo energético. La planeación de actividades de mantenimiento, la inspección sistemática de componentes críticos y el control del desempeño de los equipos contribuyen a mantener condiciones de operación estables, reduciendo la demanda energética y mejorando la sustentabilidad operativa del servicio (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

La eficiencia energética como criterio de desempeño del mantenimiento incide directamente en la sustentabilidad económica y ambiental de las organizaciones prestadoras de servicios de perforación. La reducción del consumo energético derivada de un mantenimiento eficiente permite disminuir costos operativos y minimizar impactos ambientales asociados al uso de combustibles y energía eléctrica, fortaleciendo la competitividad del servicio y su alineación con los objetivos

de desarrollo sostenible en el ámbito regional (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

6.8.4.2 Reducción de residuos en mantenimiento

La gestión de residuos técnicos derivados de las actividades de mantenimiento constituye un componente esencial de la sustentabilidad operativa en la perforación de pozos. Estos residuos: aceites usados, lubricantes, filtros, componentes metálicos desgastados y materiales contaminados, se generan como resultado directo de la intervención sobre los equipos y cuando no se gestionan de forma adecuada representan riesgos ambientales y costos adicionales para la organización. Por ello la gestión de residuos debe integrarse al sistema de mantenimiento como un proceso técnico planificado y controlado (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2018).

La generación de residuos técnicos está estrechamente vinculada al tipo de mantenimiento aplicado. Esquemas predominantemente correctivos tienden a incrementar el volumen de residuos debido a fallas súbitas, sustituciones no planificadas y daños colaterales en los equipos. La planeación del mantenimiento y la prevención de fallas permiten reducir la frecuencia de reemplazos prematuros y optimizar el uso de componentes contribuyendo a una menor generación de residuos y a un uso más eficiente de los recursos materiales (International Organization for Standardization [ISO], 2014).

La correcta gestión de residuos técnicos en el mantenimiento también implica la clasificación, manejo y disposición conforme a criterios técnicos y normativos especialmente en actividades relacionadas con infraestructura hídrica. En los servicios de perforación una gestión inadecuada de residuos puede afectar suelos y cuerpos de agua generando impactos ambientales que comprometen la sostenibilidad del servicio y su aceptación social. Por ello la integración de prácticas de gestión de residuos al mantenimiento fortalece la responsabilidad ambiental y la

viabilidad operativa de las organizaciones (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020).

La gestión de residuos técnicos en el mantenimiento industrial no se limita a su disposición final sino que prioriza la reducción en la fuente, la reutilización de componentes y la prolongación de la vida útil de los equipos. Esta orientación permite transformar al mantenimiento en un mecanismo de control del ciclo de vida de los activos físicos alineando la operación técnica con objetivos de sustentabilidad ambiental y eficiencia económica en el sector servicios (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2018; Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

6.8.4.3 Integración de la eficiencia energética y la gestión de residuos en la sustentabilidad operativa

La integración de la eficiencia energética y la gestión de residuos en el mantenimiento industrial permite consolidar un enfoque de sustentabilidad operativa en la perforación de pozos al articular dos ejes técnicos que inciden directamente en el desempeño de los equipos y en el uso de los recursos. Esta integración implica que las decisiones de mantenimiento se orienten no solo a restablecer la funcionalidad de los activos sino a optimizar su operación bajo criterios de consumo energético controlado y minimización de residuos técnicos fortaleciendo la eficiencia global del servicio (International Organization for Standardization [ISO], 2014).

La sustentabilidad operativa se alcanza cuando la eficiencia energética y la gestión de residuos se incorporan como criterios permanentes en la planeación y ejecución del mantenimiento. En los servicios de perforación esta articulación permite reducir pérdidas energéticas asociadas a fallas recurrentes y disminuir la generación de residuos derivados de sustituciones prematuras, contribuyendo a una operación más estable, rentable y ambientalmente responsable (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

La integración de estas estrategias también refuerza la viabilidad económica del servicio ya que la optimización del consumo energético y la reducción de residuos técnicos se traducen en menores costos operativos y en un uso más eficiente de los recursos materiales. En contextos regionales donde la infraestructura hídrica es estratégica esta sustentabilidad operativa fortalece la continuidad del servicio y su contribución al desarrollo productivo local al garantizar operaciones más confiables y sostenibles en el tiempo (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020).

Finalmente la integración de la eficiencia energética y la gestión de residuos en el mantenimiento industrial posiciona al mantenimiento como un eje estratégico de la sustentabilidad en el sector servicios. Al trascender un enfoque reactivo y adoptar criterios de desempeño orientados a la eficiencia y la responsabilidad ambiental el mantenimiento se consolida como un componente clave para la sostenibilidad técnica, económica y social de los servicios de perforación de pozos (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

6.8.5 Normas y estándares internacionales aplicables a la sustentabilidad y al mantenimiento en servicios de perforación:



Figura 12: Principales Estándares ISO para la Sustentabilidad y Seguridad

Fuente: *Elaboración propia*

6.8.5.1 Norma ISO 14001 y su aplicación a la gestión ambiental en servicios de perforación

La norma ISO 14001 establece los requisitos para implementar un sistema de gestión ambiental orientado al control sistemático de los aspectos e impactos ambientales derivados de las actividades organizacionales. Su aplicación permite estructurar la gestión ambiental más allá del cumplimiento normativo integrándola a los procesos operativos y de mantenimiento que influyen directamente en el uso del recurso hídrico, el consumo energético y la generación de residuos técnicos (International Organization for Standardization [ISO], 2015).

La ISO 14001 proporciona un marco para identificar y controlar los impactos ambientales asociados a la operación de equipos de perforación y a las actividades de mantenimiento. La correcta identificación de aspectos ambientales significativos como el manejo de residuos, el uso de lubricantes y la prevención de derrames permite establecer controles técnicos y procedimientos que reducen riesgos ambientales y fortalecen la sustentabilidad del servicio en entornos donde el agua es un recurso estratégico (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2018).

La integración de la ISO 14001 en los servicios de perforación también favorece la mejora del desempeño ambiental mediante la planeación, el seguimiento y la evaluación continua de los procesos. Al incorporar la gestión ambiental al sistema de mantenimiento, las organizaciones pueden reducir fallas operativas que generan impactos ambientales indirectos contribuyendo a una operación más eficiente y alineada con los principios de desarrollo sostenible en el ámbito regional (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

6.8.5.2 Norma ISO 50001 como marco para la eficiencia energética en el mantenimiento

La norma ISO 50001 establece un sistema de gestión de la energía orientado a la mejora continua del desempeño energético de las organizaciones mediante el

control sistemático del consumo y el uso eficiente de la energía. En la perforación de pozos donde la operación de maquinaria pesada y equipos electromecánicos implica un consumo energético significativo la ISO 50001 proporciona un marco estructurado para integrar la eficiencia energética a las actividades de mantenimiento y operación de los activos físicos (International Organization for Standardization [ISO], 2018a).

La ISO 50001 permite identificar los equipos y procesos con mayor impacto energético así como establecer indicadores de desempeño que vinculen el estado técnico de los activos con el consumo de energía. La aplicación de esta norma favorece la detección de ineficiencias asociadas a desgaste, desajustes mecánicos o fallas recurrentes lo que contribuye a orientar las actividades de mantenimiento hacia la optimización del desempeño energético del sistema productivo (International Organization for Standardization [ISO], 2018a).

La integración de la ISO 50001 en los servicios de perforación fortalece la sustentabilidad económica del mantenimiento al reducir costos operativos derivados del consumo energético excesivo. Al mismo tiempo la mejora del desempeño energético contribuye a disminuir impactos ambientales asociados al uso de combustibles y energía eléctrica alineando la gestión del mantenimiento con objetivos de sustentabilidad operativa y desarrollo regional particularmente en sectores vinculados a la infraestructura hídrica (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

6.8.5.3 Norma ISO 45001 y la gestión de la seguridad operativa en actividades de mantenimiento

La norma ISO 45001 establece los requisitos para implementar un sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo orientado a la prevención de lesiones y enfermedades laborales mediante el control sistemático de los riesgos asociados a las actividades operativas. En los servicios de perforación de pozos donde las tareas de mantenimiento implican la interacción con maquinaria pesada, sistemas

eléctricos e hidráulicos y condiciones ambientales variables, la aplicación de esta norma permite estructurar la gestión de la seguridad como un componente integral del desempeño operativo (International Organization for Standardization [ISO], 2018b).

La ISO 45001 proporciona un marco para identificar, evaluar y controlar los riesgos inherentes a las actividades de intervención técnica sobre los equipos de perforación. La correcta gestión de riesgos durante las labores de mantenimiento contribuye a reducir incidentes, paros no programados y daños a los activos fortaleciendo la confiabilidad del servicio y la continuidad operativa en entornos donde la seguridad del personal es un factor crítico (Organización Internacional del Trabajo [OIT], 2019).

La integración de la ISO 45001 en los procesos de mantenimiento también incide directamente en la sustentabilidad social de los servicios de perforación al promover condiciones de trabajo seguras y proteger la integridad física del personal técnico. La prevención de accidentes laborales no solo reduce costos asociados a ausentismo y fallas operativas sino que fortalece la estabilidad laboral y el impacto positivo del servicio en el desarrollo regional particularmente en sectores estratégicos vinculados a la infraestructura hídrica (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

6.8.6 Alineación de la gestión del mantenimiento y la sustentabilidad operativa con los Objetivos de Desarrollo Sostenible



Figura 13: Objetivos de Desarrollo Sostenible desde el enfoque interno hasta el externo

Fuente: *Elaboración propia*

6.8.6.1 ODS 9: Contribución del mantenimiento y la infraestructura de perforación: industria, innovación e infraestructura

El ODS 9 promueve el desarrollo de infraestructuras resilientes y la modernización de los procesos productivos mediante la innovación y la eficiencia operativa. El mantenimiento industrial desempeña un papel clave al asegurar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos que conforman la infraestructura hídrica, permitiendo la continuidad de servicios esenciales para el desarrollo productivo regional (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

La gestión eficiente del mantenimiento contribuye al ODS 9 al fortalecer la capacidad operativa de la infraestructura de perforación, reducir fallas críticas y optimizar el desempeño de los activos físicos. Estas acciones favorecen la modernización técnica de los servicios impulsan prácticas de innovación incremental en la gestión de equipos y refuerzan la resiliencia de la infraestructura

asociada al abastecimiento de agua (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

La alineación del mantenimiento con criterios de eficiencia y mejora continua permite que los servicios de perforación se integren a estrategias de desarrollo industrial sostenible. Al garantizar infraestructuras funcionales y técnicamente confiables el mantenimiento industrial contribuye a crear condiciones favorables para la actividad económica y el desarrollo territorial, en concordancia con los objetivos planteados por el ODS 9 (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020).

6.8.6.2 ODS 12: Producción y consumo responsables desde la gestión del mantenimiento en servicios de perforación

El ODS 12 promueve patrones de producción y consumo responsables mediante el uso eficiente de los recursos y la reducción de desperdicios a lo largo de los procesos productivos. La gestión del mantenimiento incide directamente en este objetivo al controlar el uso de materiales, energía y refacciones asociadas a la operación de los equipos contribuyendo a una utilización más racional de los recursos técnicos (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

La implementación de prácticas de mantenimiento planificado y orientado a la prevención de fallas permite reducir sustituciones prematuras de componentes y minimizar la generación de residuos técnicos. Esta gestión eficiente del ciclo de vida de los equipos se alinea con los principios de economía circular y fortalece la producción responsable en actividades vinculadas a la infraestructura hídrica y al desarrollo regional (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2018).

El mantenimiento eficiente favorece un consumo responsable al optimizar el desempeño de los equipos y disminuir el uso innecesario de insumos energéticos y materiales. De esta manera la gestión del mantenimiento se consolida como un

mecanismo operativo para la implementación del ODS 12 en el sector servicios al integrar eficiencia técnica, reducción de residuos y sustentabilidad operativa (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

6.8.6.3 ODS 13: Acción por el clima a través de la eficiencia operativa y energética en el mantenimiento

El ODS 13 orienta a las organizaciones a adoptar medidas que contribuyan a la mitigación del cambio climático mediante la reducción de emisiones y el uso eficiente de los recursos energéticos. La eficiencia operativa y energética del mantenimiento incide directamente en este objetivo al disminuir el consumo de combustibles y energía asociado a la operación ineficiente de equipos y a la ocurrencia de fallas recurrentes (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

La gestión del mantenimiento orientada a la eficiencia energética permite reducir emisiones indirectas al optimizar el desempeño de la maquinaria y prevenir condiciones operativas que generan sobreconsumo energético. Estas acciones fortalecen la contribución del sector servicios a la acción climática particularmente en actividades relacionadas con infraestructura hídrica que demandan un uso intensivo de energía (International Organization for Standardization [ISO], 2018b).

La integración de criterios de eficiencia energética en el mantenimiento contribuye a una operación más resiliente frente a los efectos del cambio climático al reducir la dependencia energética y mejorar la confiabilidad del servicio. De esta manera el mantenimiento industrial se consolida como un mecanismo técnico para la implementación del ODS 13 alineando la operación de los servicios de perforación con los objetivos globales de acción climática y sustentabilidad operativa (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

6.8.7 Modelos de integración TPM-Lean-Sustentabilidad en servicios de perforación

La integración de TPM (Mantenimiento Productivo Total), Lean Manufacturing y sostenibilidad busca combinar eficiencia operativa, optimización de recursos y responsabilidad ambiental y social, generando un enfoque integral que maximiza la productividad y la sostenibilidad de las operaciones. Los modelos de integración se basan en la premisa de que la mejora continua, el mantenimiento eficiente y la reducción del impacto ambiental no son objetivos separados sino componentes interdependientes que fortalecen la competitividad de la organización (García-Alcaraz, 2019).

6.8.7.1 Componentes estructurales de los modelos integrados TPM-Lean-Sustentabilidad

Los modelos integrados TPM-Lean-Sustentabilidad se estructuran a partir de componentes que articulan la confiabilidad de los equipos, la eficiencia de los procesos y la gestión responsable de los recursos. Estos modelos incorporan al mantenimiento productivo total como base para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los activos físicos mientras que Lean Manufacturing aporta herramientas para la eliminación de desperdicios y la optimización de los flujos operativos integrando criterios de desempeño técnico y eficiencia operativa (Nakajima, 1988; Womack, J. P. et al., 2003).

Un componente estructural clave de estos modelos es la gestión sistemática del mantenimiento orientada a la prevención de fallas y a la mejora continua del desempeño de los equipos. La integración del TPM con principios Lean permite alinear las actividades de mantenimiento con objetivos de eficiencia energética, reducción de residuos y control de costos fortaleciendo la sustentabilidad operativa de los servicios de perforación y su contribución al desarrollo regional asociado a la infraestructura hídrica (International Organization for Standardization [ISO], 2014; Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

Los modelos integrados incorporan la sustentabilidad como un eje transversal que guía la toma de decisiones técnicas y organizacionales. Este componente implica considerar de manera simultánea los impactos ambientales, económicos y sociales de las operaciones de mantenimiento de modo que la mejora del desempeño de los equipos se traduzca en un uso más eficiente de los recursos, una operación económicamente viable y una mayor estabilidad de los servicios en el entorno regional (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

6.8.7.2 Enfoques y modelos de integración TPM-Lean-Sustentabilidad

La literatura especializada reconoce distintos enfoques para la integración de TPM y Lean como sistemas complementarios orientados a la mejora del desempeño operativo los cuales han evolucionado para incorporar criterios de sustentabilidad. Estos modelos integrados parten de la confiabilidad de los equipos y la eliminación de desperdicios como bases para optimizar el uso de recursos, reducir impactos ambientales y fortalecer la viabilidad económica de las operaciones especialmente en sectores de servicios intensivos en activos como la perforación de pozos (Womack, J. P. et al., 2003; International Organization for Standardization [ISO], 2014).

En los servicios de perforación los modelos de integración TPM-Lean-Sustentabilidad se enfocan en alinear el mantenimiento productivo total con prácticas de mejora continua que priorizan la eficiencia energética, la reducción de residuos y la gestión responsable del ciclo de vida de los equipos. Esta integración permite que las actividades de mantenimiento se conviertan en un eje estratégico de la sustentabilidad operativa al vincular el desempeño técnico de los activos con objetivos ambientales y económicos de largo plazo (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

Los enfoques integrados destacan la importancia de la participación del personal operativo, la estandarización de procesos y la medición del desempeño como elementos que facilitan la implementación de prácticas sustentables. En este

sentido la integración TPM-Lean-Sustentabilidad no se limita a la adopción de herramientas sino que configura un modelo de gestión que fortalece la resiliencia operativa de los servicios de perforación y su contribución al desarrollo regional asociado a la infraestructura hídrica (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

6.8.8 Evidencia documentada sobre la aplicación de TPM-Lean-Sustentabilidad en servicios de perforación

Los casos de estudio en empresas de servicios técnicos permiten analizar la implementación práctica de metodologías como TPM, Lean Manufacturing y estrategias de sostenibilidad identificando beneficios, desafíos y resultados concretos en entornos reales de operación. Estos estudios ofrecen evidencia empírica sobre cómo la integración de mantenimiento eficiente, optimización de procesos y gestión ambiental contribuye a mejorar la productividad, la confiabilidad de los equipos y la eficiencia de los recursos (García-Alcaraz, 2019).

6.8.8.1 Aplicaciones documentadas de TPM y Lean en servicios técnicos de perforación

Diversos casos documentados muestran que la aplicación de TPM y Lean en empresas de servicios técnicos permite reducir significativamente los tiempos de inactividad y mejorar la efectividad global de los equipos (OEE). Por ejemplo organizaciones que implementaron mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo y mapeo de flujo de valor lograron disminuir fallas recurrentes, optimizar la programación de mantenimientos y aumentar la eficiencia de sus operaciones. Además la integración de herramientas Lean como 5S, Kaizen y mejora continua favoreció la eliminación de desperdicios, la reducción de costos operativos y la mejora de la organización del espacio de trabajo (Herrera & García, 2020).

6.8.8.2 Integración de TPM y Lean con enfoques de sustentabilidad en servicios técnicos

Casos de estudio recientes destacan que cuando la sostenibilidad se incorpora en las estrategias de TPM y Lean se obtienen beneficios ambientales y sociales adicionales. Empresas que implementaron gestión de residuos, eficiencia energética y economía circular observaron reducciones en consumo de energía y materiales, disminución de residuos peligrosos y optimización de procesos productivos. La integración de indicadores de desempeño ambiental permitió monitorear los avances, facilitar auditorías internas y fortalecer la cultura de responsabilidad ambiental dentro de la organización (Lozano, 2015; Prieto-Sandoval et al., 2018).

6.8.8.3 Beneficios documentados de los modelos TPM-Lean-Sustentabilidad

Los beneficios reportados en estos estudios incluyen:

- Incremento de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos mediante prácticas de mantenimiento estructurado.
- Mejora de la productividad y eficiencia de los procesos a través de la eliminación de desperdicios y optimización de flujos de trabajo.
- Reducción de impactos ambientales mediante gestión de residuos, eficiencia energética y reutilización de materiales.
- Fortalecimiento de la cultura organizacional con mayor involucramiento del personal en prácticas de mejora continua y sostenibilidad.
- Alineación con normas internacionales y objetivos de desarrollo sostenible contribuyendo a la competitividad y responsabilidad social de las empresas (García-Alcaraz, 2019; Sachs, 2015).

Caso 1: Lean Six Sigma y TPM para la mejora del proceso de mantenimiento de equipos en empresa de servicios (Barriga et al., 2024).

- Ubicación / Sector: Servicio técnico (equipos de mantenimiento), Perú.
- Intervención: Aplicación conjunta de Lean Six Sigma (LSS) y TPM mediante la metodología DMAIC para optimizar el proceso de mantenimiento.
- Resultados:
 1. Mejora de la eficiencia de proceso en más de un 10%.
 2. Reducción de defectos por millón de oportunidades (DPMO) en un 53%.
 3. Disminución del tiempo total del proceso en aproximadamente 2 horas.
- Lecciones aprendidas:
 1. Importancia de combinar herramientas de mejora continua con mantenimiento estructurado.
 2. La necesidad de recopilación de datos confiables para medir avances.
 3. Implicación del personal técnico para que los cambios sean sostenibles.

Caso 2: Optimización del mantenimiento en plataforma de perforación Jack-Up Drilling Rig (Oceaneering, 2022).

- Ubicación / Sector: Europa y Medio Oriente, en plataforma de perforación marítima (jack-up rig).
- Intervención: Proyecto de optimización del programa de mantenimiento durante ~20 meses. Incluyó revisión de registros de equipos, mejora en la jerarquía del sistema de etiquetado, implementación de software de gestión de mantenimiento, optimización de planes de mantenimiento para cumplir estándares regulatorios.
- Resultados:
 1. Mejora en la eficiencia operativa al eliminar tareas innecesarias.
 2. Reducción de costos operativos y del tiempo requerido para realizar mantenimiento.
 3. Mayor claridad en los registros (asset register), lo que facilita planificación, seguimiento y cumplimiento de estándares de seguridad y operacionales.
- Desafíos encontrados:

1. Verificar la exactitud de documentación técnica previa (planos, identificaciones de equipo).
2. Capacitación y alineación de múltiples partes (operarios, mantenimiento, gerencia).
3. Adaptación del software para soportar todas las variables de mantenimiento y jerarquías de activos.

6.8.9 Impactos documentados de la integración TPM-Lean-Sustentabilidad en el desempeño organizacional

6.8.9.1 Impactos documentados en la eficiencia energética

La eficiencia energética se refiere a la capacidad de una organización para optimizar el consumo de energía en sus operaciones y procesos productivos, manteniendo o mejorando la calidad y la productividad. La implementación de estrategias de eficiencia energética cuando se combina con metodologías como TPM y Lean Manufacturing permite reducir pérdidas energéticas, prolongar la vida útil de los equipos y disminuir tiempos de inactividad lo que repercute directamente en la rentabilidad y sostenibilidad de la empresa. Estudios recientes documentan que las empresas que monitorean y controlan sistemáticamente el consumo energético, aplican mantenimiento preventivo y predictivo y adoptan tecnologías de bajo consumo logran reducciones de entre 10% y 30% en su consumo energético anual lo que se traduce en ahorros significativos y menores emisiones de gases contaminantes (García-Alcaraz, 2019; Lozano, 2015).

La eficiencia energética no solo implica reducir el consumo de electricidad o combustibles sino también optimizar el uso de recursos asociados como agua, aire comprimido y sistemas de calefacción o refrigeración. Esto requiere la implementación de indicadores clave de desempeño (KPIs) que permitan medir, comparar y mejorar continuamente el rendimiento energético fomentando una cultura organizacional orientada a la eficiencia y a la sostenibilidad (Prieto-Sandoval et al., 2018).

6.8.9.2 Impactos documentados en la reducción de la huella ambiental

La reducción de la huella ambiental se refiere a la disminución del impacto de las operaciones de una organización sobre el medio ambiente considerando aspectos como emisiones de CO₂, generación de residuos sólidos y peligrosos, consumo de agua y materiales, y contaminación asociada a los procesos productivos. Las empresas que adoptan prácticas de sostenibilidad, economía circular y eficiencia de recursos han reportado impactos positivos como la disminución de residuos hasta en un 40%, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la optimización de insumos y materiales.

La implementación de sistemas de gestión ambiental como ISO 14001 permite identificar impactos significativos, establecer planes de acción y monitorear resultados asegurando que las mejoras ambientales sean continuas y medibles. Además la integración de la sostenibilidad con metodologías de optimización de procesos como Lean y TPM asegura que la reducción de la huella ambiental no comprometa la productividad ni la calidad del servicio sino que se logre de manera eficiente y rentable (Geissdoerfer et al., 2017; Lozano, 2015).

6.8.9.3 Impactos documentados en la imagen y responsabilidad corporativa

La adopción de prácticas sostenibles y responsables tiene un efecto directo en la imagen y reputación corporativa. Las empresas que muestran un compromiso tangible con la eficiencia energética, la reducción de residuos y la gestión ambiental son percibidas como responsables, confiables y comprometidas con la sociedad lo que fortalece la relación con clientes, proveedores, inversionistas y la comunidad en general. Esta percepción positiva puede traducirse en ventajas competitivas, diferenciación en el mercado, mayor fidelización de clientes y apertura de nuevas oportunidades de negocio reforzando el valor de la marca y la posición estratégica de la organización (Sachs, 2015).

La mejora en la imagen corporativa se potencia cuando la organización comunica de manera transparente sus logros en sostenibilidad mediante informes de desempeño ambiental, certificaciones y auditorías externas. Esto no solo genera confianza sino que también motiva al personal fomentando la participación en iniciativas de mejora continua y prácticas sostenibles consolidando una cultura organizacional orientada a la responsabilidad social y ambiental (Herrera & García, 2020).

6.8.10 Retos y oportunidades para la empresa Pozos Profundos Javier Angulo desde un enfoque estratégico

6.8.10.1 Retos operativos y de gestión del mantenimiento en empresas de servicios de perforación

1. Escasez de agua y sobreexplotación de acuíferos

La creciente demanda de agua para consumo humano, agrícola e industrial combinada con la escasez de fuentes superficiales incrementa la presión sobre los acuíferos subterráneos. Este fenómeno puede llevar a la sobreexplotación de los recursos hídricos afectando la disponibilidad de agua a largo plazo (Gobierno de México, 2022).

2. Regulaciones ambientales y permisos

Las estrictas regulaciones ambientales y la necesidad de obtener permisos para la perforación de pozos profundos pueden generar retrasos en los proyectos y aumentar los costos operativos. Cumplir con estas normativas es esencial para evitar sanciones y garantizar la sostenibilidad de las operaciones (Gobierno de Sinaloa, 2021).

3. Condiciones geológicas impredecibles

Las condiciones geológicas variables como la presencia de capas rocosas duras o la variabilidad en la profundidad de los acuíferos pueden complicar las operaciones

de perforación, aumentar los tiempos de ejecución y elevar los costos (Acua Servicios Hidráulicos, s.f.).

4. Competencia en el sector

El sector de perforación de pozos profundos es altamente competitivo con múltiples empresas ofreciendo servicios similares. Diferenciarse en calidad, precio y servicio al cliente es crucial para mantener una ventaja competitiva (Perforaciones Hidráulicas del Bajío [PHB], 2025).

6.8.10.2 Oportunidades de mejora mediante la integración TPM-Lean-Sustentabilidad

1. Innovación tecnológica en perforación

La adopción de tecnologías avanzadas en perforación como equipos más eficientes y técnicas de monitoreo en tiempo real puede mejorar la precisión, reducir costos y aumentar la velocidad de ejecución de los proyectos (Perforaciones Hidráulicas del Bajío [PHB], 2025).

2. Proyectos de infraestructura hídrica

La participación en proyectos gubernamentales y privados destinados a mejorar la infraestructura hídrica como la construcción de sistemas de abastecimiento de agua en zonas rurales o urbanas representa una oportunidad significativa para la empresa (Gobierno de Sinaloa, 2021).

3. Conciencia ambiental y sostenibilidad

El creciente enfoque en prácticas sostenibles y la gestión responsable de los recursos hídricos ofrecen a la empresa la oportunidad de posicionarse como líder en perforación de pozos que cumplen con estándares ambientales atrayendo a clientes comprometidos con la sostenibilidad (Comisión Estatal del Agua de Sonora, 2025).

4. Expansión de servicios complementarios

Ampliar la gama de servicios ofrecidos como el mantenimiento de pozos existentes, la instalación de sistemas de bombeo eficientes y la realización de estudios hidrogeológicos puede diversificar las fuentes de ingresos y fortalecer la relación con los clientes (Acua Servicios Hidráulicos, s.f.).

6.8.11 Marco Integrador: La Sinergia Lean-Green en el Sector Hídrico de Sinaloa

La integración de las metodologías Lean y Green ha sido abordada en la literatura como un enfoque complementario que permite mejorar simultáneamente el desempeño operativo y ambiental de las organizaciones. Diversos estudios coinciden en que ambas filosofías comparten principios orientados a la reducción de desperdicios, la optimización de recursos y la mejora continua, lo que favorece la sostenibilidad económica, social y ambiental de los sistemas productivos. La sinergia Lean-Green se configura como un marco conceptual que trasciende la eficiencia técnica para incorporar criterios de responsabilidad ambiental dentro de la gestión operativa (Moldavska & Welo, 2019).

El enfoque Lean-Green parte del principio de que gran parte de los desperdicios operativos identificados por Lean Manufacturing tienen una correspondencia directa con impactos ambientales negativos. Fallas recurrentes, paros no programados, reprocesos y consumo energético excesivo no solo reducen la eficiencia productiva sino que incrementan la generación de residuos, emisiones y uso innecesario de recursos naturales. La eliminación sistemática de desperdicios operativos contribuye de manera directa a la mejora del desempeño ambiental de las organizaciones (Galdames & Campos, 2023).

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) desempeña un papel clave dentro del marco Lean-Green al fungir como un mecanismo preventivo que mejora la confiabilidad de los equipos y reduce los impactos ambientales asociados a fallas

operativas. La correcta ejecución del mantenimiento autónomo y planificado permite disminuir fugas, derrames, defectos y consumos energéticos innecesarios lo que fortalece la eficiencia operativa y la gestión ambiental de los sistemas productivos. De esta forma el TPM se consolida como un eje técnico que articula la eficiencia industrial con la sustentabilidad (U.S. Environmental Protection Agency [EPA], 2025).

En el sector hídrico la aplicación de herramientas Lean ha demostrado ser una estrategia eficaz para optimizar procesos relacionados con el tratamiento, distribución y mantenimiento de infraestructura asociada al agua. La reducción de desperdicios, la mejora en la eficiencia energética y la estandarización de procesos contribuyen a una gestión más sostenible de los recursos hídricos. En contextos donde el acceso al agua es un factor crítico para el desarrollo regional como en el estado de Sinaloa la adopción de enfoques Lean-Green adquiere una relevancia estratégica (Nieto Serna et al., 2024).

La evaluación del desempeño en sistemas Lean-Green ha evolucionado hacia la integración de indicadores que combinan eficiencia operativa y desempeño ambiental. En este sentido se han propuesto métricas que amplían el enfoque tradicional del OEE al incorporar variables ambientales permitiendo evaluar de forma integral la efectividad de los equipos y su impacto ecológico. Este tipo de indicadores refuerza la necesidad de medir la sustentabilidad como parte del desempeño operativo y no como un elemento aislado (Mehrabi & Aissa, 2015).

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Área de estudio

El área de estudio está centrada en la empresa Pozos Profundos Javier Angulo que se dedica a la perforación de pozos de agua en el estado de Sinaloa, México. Esta empresa tiene más de 20 años de experiencia en el negocio y enfrenta problemas relacionados con el mantenimiento de sus equipos lo que ha llevado a un incremento en los costos y tiempos de mantenimiento.

La investigación se llevó a cabo en el área de servicio de la empresa la cual constituye una unidad operativa clave debido a que en ella se concentran los equipos utilizados en las actividades de perforación y servicios técnicos especializados. Esta área fue seleccionada como objeto de estudio por su impacto directo en la continuidad operativa, los costos de mantenimiento y la calidad del servicio proporcionado a los clientes.

El área de estudio comprendió los procesos relacionados con la operación, mantenimiento y gestión de los equipos enfocándose en la mejora de su efectividad mediante la implementación de las metodologías TPM (Mantenimiento Productivo Total) y Lean Manufacturing. Dichas metodologías se aplicaron con el propósito de optimizar la disponibilidad de los equipos, reducir los tiempos de inactividad y fortalecer la eficiencia operativa del área de servicio.

Dentro del área de estudio se consideró la integración de un enfoque de sustentabilidad orientado al uso eficiente de los recursos y a la reducción del impacto ambiental asociado a las actividades de mantenimiento y reparación de equipos. Este enfoque incluyó prácticas relacionadas con el consumo energético, la gestión de residuos y la adopción de rutinas operativas más responsables.

El área de estudio incluyó la evaluación de la efectividad de los equipos como un elemento central del análisis considerando aspectos como la disponibilidad operativa, los costos de mantenimiento y el desempeño general de los activos. Estos elementos permitieron establecer el contexto necesario para la aplicación del diseño metodológico de la investigación y la posterior evaluación cuantitativa de los resultados.

7.2 Ubicación de la empresa

Pozos Profundos Javier Angulo está ubicada en Benito Juárez, Salvador Alvarado, Sinaloa pero opera en el estado de Sinaloa, México ofreciendo servicios de perforación de pozos a lo largo de todo el estado.

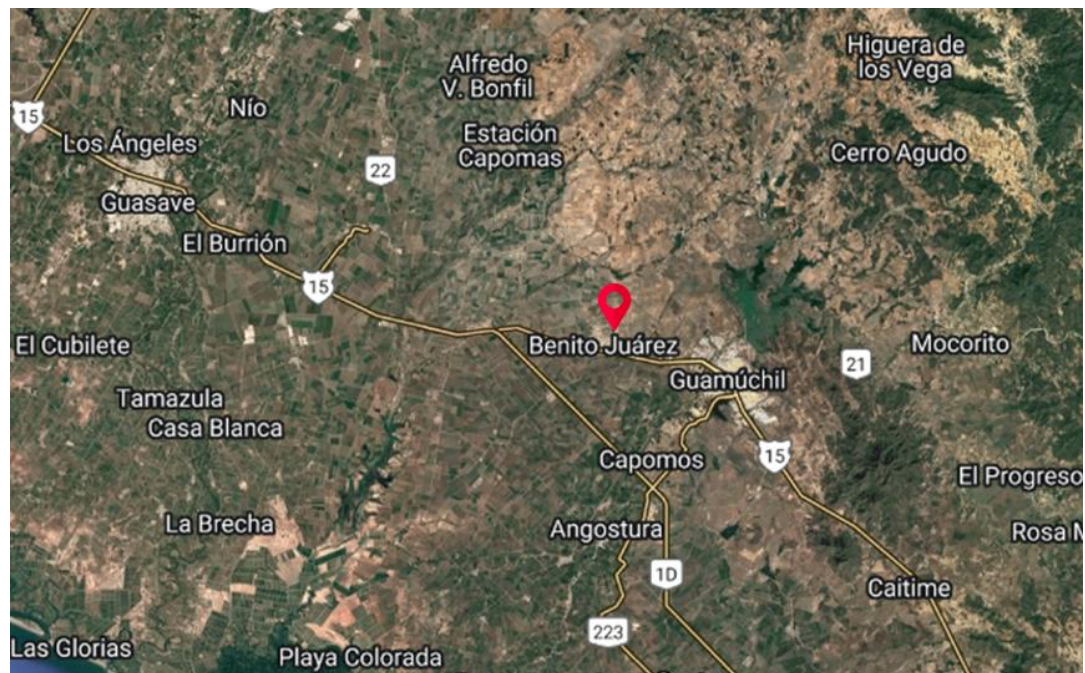


Figura 14: Ubicación

Fuente: Google Maps

7.3 Tipo y enfoque de la investigación

La investigación fue de tipo aplicada ya que se orientó a la solución de un problema práctico relacionado con la gestión del mantenimiento y la efectividad de los equipos en una empresa de servicios de perforación de pozos. Su propósito fue generar mejoras operativas mediante la implementación de un sistema basado en las metodologías TPM y Lean Manufacturing.

El enfoque de la investigación fue cuantitativo debido a que se evaluó el impacto de la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing mediante el uso de indicadores numéricos asociados al desempeño de los equipos tales como el tiempo de inactividad, la frecuencia de fallas, los costos de mantenimiento y el análisis costo-beneficio. El análisis de la información se realizó a través de herramientas estadísticas y la representación de resultados mediante tablas y gráficas comparativas.

De manera complementaria durante el desarrollo de la investigación se realizaron actividades de diagnóstico, observación de procesos y capacitación del personal las cuales permitieron apoyar la implementación del modelo propuesto. Estas actividades no constituyeron un enfoque metodológico independiente sino que sirvieron como soporte para la correcta aplicación del sistema TPM-Lean Manufacturing y la interpretación de los resultados cuantitativos obtenidos.

1. Diagnóstico y observación de procesos:

- El diagnóstico inicial se realizó mediante la aplicación de un instrumento de evaluación tipo checklist diseñado con base en los ocho pilares de la metodología TPM (Mantenimiento Autónomo, Mantenimiento Planificado, Mejora Enfocada, Capacitación y Entrenamiento, Gestión Temprana de Equipos, Mantenimiento de Calidad, Seguridad, Salud y Medio Ambiente, y TPM en Áreas Administrativas). El instrumento permitió verificar de manera sistemática las condiciones operativas, prácticas de

mantenimiento, seguridad, orden y limpieza, capacitación del personal y gestión documental relacionadas con los equipos del área de servicio.

- Los hallazgos obtenidos durante las inspecciones fueron registrados en formatos de observación estructurados y evidencias fotográficas permitiendo documentar las condiciones reales de operación, las fallas detectadas, los tiempos de inactividad, las oportunidades de mejora y el grado de cumplimiento de los criterios establecidos para cada pilar del TPM. La información recopilada sirvió como base para la elaboración del diagnóstico inicial y para el diseño posterior del sistema TPM-Lean Manufacturing con enfoque de sustentabilidad.

2. Capacitación y cambio organizacional:

- Como parte de la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing se desarrolló un programa de capacitación dirigido al personal operativo y de supervisión del área de servicio de la empresa Pozos Profundos Javier Angulo. Las sesiones se impartieron en las instalaciones de la empresa mediante exposiciones apoyadas con material audiovisual y presentaciones digitales abordando temas relacionados con los principios del TPM, herramientas Lean Manufacturing, mantenimiento autónomo, identificación de desperdicios, seguridad operativa y buenas prácticas de sustentabilidad.
- La capacitación fue impartida a 8 trabajadores del área de servicio quienes participaron activamente en sesiones teóricas y prácticas orientadas a fortalecer sus competencias en la gestión del mantenimiento y la mejora continua. Para evaluar el nivel de conocimiento de los participantes, se aplicó un examen diagnóstico previo al inicio de la capacitación y una evaluación final al concluir las sesiones. Esta

comparación permitió verificar el grado de comprensión de los conceptos impartidos y medir el avance en el aprendizaje del personal.

- Adicionalmente durante las actividades de capacitación se realizaron ejercicios prácticos de inspección de equipos, identificación de anomalías, aplicación de listas de verificación y ejecución de actividades básicas de mantenimiento autónomo. Los resultados obtenidos evidenciaron una mejora en el conocimiento del personal sobre los procedimientos de mantenimiento, seguridad y control operativo, favoreciendo la adopción de la metodología TPM-Lean Manufacturing dentro de la organización. El análisis del proceso de capacitación se utilizó como un elemento de apoyo para asegurar la aplicación adecuada del modelo propuesto sin considerarse como un componente de análisis cualitativo formal dentro del enfoque de la investigación.

3. Análisis de resultados:

- El análisis de resultados se centró principalmente en la evaluación de indicadores cuantitativos obtenidos antes y después de la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing. Estos resultados fueron representados mediante tablas y gráficas comparativas lo que permitió evaluar de manera objetiva los cambios en el desempeño de los equipos.
- La explicación de los resultados se apoyó en el contexto operativo observado durante la implementación con el propósito de facilitar su interpretación, sin que ello implicara un análisis cualitativo sistemático.

4. Sostenibilidad y prácticas responsables:

- La implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing incorporó prácticas orientadas a la sostenibilidad con el propósito de minimizar los impactos ambientales asociados a las actividades de mantenimiento y

operación de los equipos. Entre las acciones consideradas se incluyeron la optimización del consumo energético mediante la reducción de tiempos de inactividad, la correcta gestión y disposición de residuos generados durante las actividades de mantenimiento, la promoción del uso eficiente de materiales e insumos y el fortalecimiento de las condiciones de seguridad laboral.

- Se establecieron lineamientos para la selección y utilización de productos de mantenimiento con menor impacto ambiental tales como lubricantes biodegradables, aceites hidráulicos de baja toxicidad y productos de limpieza menos agresivos para el medio ambiente. Estas prácticas buscan reducir el riesgo de contaminación del suelo y de los mantos acuíferos, aspecto particularmente relevante en las actividades relacionadas con la perforación y mantenimiento de pozos profundos.
- De manera complementaria se promovió la prevención de fugas de aceites y combustibles mediante inspecciones periódicas, el almacenamiento adecuado de sustancias químicas y la atención oportuna de derrames accidentales. Estas acciones permitieron integrar criterios ambientales, económicos y sociales dentro de la gestión del mantenimiento, alineando la propuesta con los principios de sustentabilidad empresarial.

7.4 Diseño de la Investigación

La investigación presentó un diseño cuasi-experimental, bajo el esquema pre-test / post-test con un solo grupo aplicado a la flota de maquinaria de la empresa Pozos Profundos Javier Angulo considerada como la unidad de análisis del estudio. Este diseño consistió en la evaluación de las condiciones iniciales del desempeño del mantenimiento y la eficiencia operativa de los equipos antes de la

implementación del sistema TPM-Lean seguida de una medición posterior a la aplicación de las estrategias definidas en el modelo propuesto.

La elección de un diseño pre-experimental con un solo grupo se justificó por las características operativas y organizacionales de la empresa, las cuales no permitieron la conformación de un grupo de control sin afectar la continuidad del servicio. En empresas de servicios de perforación donde los equipos constituyen activos críticos y operan bajo condiciones reales de trabajo, la separación de grupos experimentales resulta poco viable desde el punto de vista técnico y económico por lo que este tipo de diseño es comúnmente empleado en estudios aplicados de mejora de procesos y mantenimiento industrial.

El diseño pre-test / post-test permitió comparar el estado del sistema de mantenimiento antes y después de la intervención facilitando la identificación de cambios atribuibles a la implementación de las prácticas TPM y Lean Manufacturing. Este enfoque fue adecuado para evaluar el impacto del modelo propuesto en indicadores asociados a la disponibilidad de los equipos, la eficiencia operativa y la gestión del mantenimiento sin alterar el funcionamiento normal de la empresa.

Este diseño se consideró pertinente para estudios de carácter aplicado y de mejora organizacional ya que posibilita analizar el efecto de una intervención real en un entorno productivo específico manteniendo la coherencia entre el marco teórico, el procedimiento metodológico y los objetivos de la investigación.

7.5 Variables a medir

1. Efectividad de los Equipos:

- Disponibilidad de los equipos
- Tiempo de inactividad

- Frecuencia de fallas
 - Costo de mantenimiento
 - Tiempo de respuesta ante fallas
2. Desempeño ambiental del mantenimiento:
- Cantidad de residuos generados en actividades de mantenimiento
 - Consumo de recursos asociados al mantenimiento (energía, materiales)
3. Desempeño del servicio al cliente:
- Número de quejas registradas relacionadas con fallas del servicio
 - Tiempo de atención a incidencias reportadas por clientes
4. Costos operativos del mantenimiento:
- Costos de mantenimiento correctivo
 - Costos de mantenimiento preventivo
 - Variación de costos operativos antes y después de la implementación

7.6 Operacionalización de variables

Con el propósito de garantizar el rigor metodológico de la investigación se realizó la operacionalización de las variables definiendo de manera clara las dimensiones, indicadores y fuentes de información empleadas para su medición.

Variable independiente:

Tabla 5: Metodología integrada TPM-Lean-Sustentabilidad

Metodología integrada TPM-Lean-Sustentabilidad			
Dimensión	Indicador	Instrumento	Fuente de datos
Gestión del mantenimiento	Cumplimiento del plan de mantenimiento	Formato de plan de mantenimiento	Registros del área de servicio
Mantenimiento autónomo	Ejecución de actividades autónomas	Checklists TPM	Bitácoras operativas
Mejora continua	Número de acciones correctivas implementadas	Formatos de seguimiento	Reportes internos
Sustentabilidad	Gestión de residuos	Bitácora de residuos	Registros ambientales

Fuente: *Elaboración propia*

Variable dependiente 1:

Tabla 6: Efectividad Global de los Equipos (OEE)

Efectividad Global de los Equipos (OEE)			
Dimensión	Indicador	Fórmula	Fuente de datos
Disponibilidad	Tiempo operativo real	$(\text{Tiempo disponible} - \text{tiempo de paro}) / \text{tiempo disponible}$	Bitácoras de operación
Rendimiento	Velocidad de operación	$\text{Producción real} / \text{producción teórica}$	Reportes operativos
Calidad	Tasa de conformidad	$\text{Servicios conformes} / \text{servicios totales}$	Registros de servicio
OEE	Efectividad global	$\text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$	Dashboard de mantenimiento

Fuente: *Elaboración propia*

Variable dependiente 2:

Tabla 7: Impacto ambiental (manejo de residuos)

Impacto ambiental (manejo de residuos)			
Dimensión	Indicador	Instrumento	Fuente de datos
Residuos generados	Cantidad de residuos	Bitácora de residuos	Registros ambientales
Manejo adecuado	Cumplimiento normativo	Checklist ambiental	Auditorías internas

Fuente: *Elaboración propia*

7.7 Tamaño de muestra

La muestra de la presente investigación estuvo constituida por la totalidad de los equipos operativos del área de servicio de la empresa Pozos Profundos Javier Angulo los cuales conforman la unidad principal de análisis del estudio. Debido a que el número de equipos es finito, accesible y controlable se optó por trabajar con una muestra censal considerando el 100 % de los equipos del área de servicio sin aplicar procedimientos de muestreo estadístico.

La decisión de utilizar una muestra censal se justifica por el carácter aplicado de la investigación y por el objetivo de evaluar de manera integral el impacto de la implementación de las metodologías TPM y Lean Manufacturing sobre la efectividad de los equipos permitiendo comparar los indicadores operativos antes y después de la intervención bajo un mismo entorno organizacional.

Adicionalmente participaron en el estudio los ocho empleados adscritos al área de servicio de la empresa quienes estuvieron involucrados en las actividades de operación, mantenimiento y ejecución de las acciones derivadas de la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing. La participación del personal tuvo como finalidad facilitar la aplicación de las metodologías, la recopilación de información operativa y el cumplimiento de los procedimientos establecidos, sin constituir la muestra estadística principal del estudio.

De esta manera mientras que los equipos del área de servicio representaron la muestra para el análisis cuantitativo de los indicadores de desempeño, los empleados fungieron como actores operativos clave para la implementación y sostenibilidad del sistema propuesto.

7.8 Diseño experimental

1. Tipo de diseño experimental:

La investigación se desarrolló bajo un diseño cuasi-experimental de tipo pre-test y post-test con un solo grupo aplicado a la totalidad de los equipos del área de servicio de la empresa Pozos Profundos Javier Angulo. Este diseño fue seleccionado debido a que la intervención se realizó en un contexto operativo real donde no fue viable establecer un grupo de control sin afectar la continuidad de las operaciones de la empresa.

2. Población y unidad de análisis:

La población de estudio estuvo conformada por el 100 % de los equipos operativos del área de servicio de la empresa Pozos Profundos Javier Angulo los cuales constituyeron la unidad principal de análisis de la investigación. Debido al tamaño finito y accesible de la población se trabajó con una muestra censal lo que permitió evaluar de manera integral el impacto de la intervención sobre todos los equipos.

3. Variables e indicadores evaluados:

Las variables analizadas en el diseño experimental estuvieron relacionadas con la efectividad de los equipos, la eficiencia operativa y los costos de mantenimiento. Entre los principales indicadores evaluados se incluyeron la disponibilidad de los equipos, el tiempo de inactividad, la frecuencia de fallos, los costos de mantenimiento y el tiempo de respuesta ante fallas. Estos indicadores fueron medidos de forma cuantitativa tanto en la fase de pre-test como en la fase de post-test, garantizando la comparabilidad de los resultados.

4. Fase de pretest:

La fase de pre-test se desarrolló durante un periodo de cuatro semanas consecutivas en las cuales se realizó la medición inicial de los indicadores de desempeño de los equipos del área de servicio. Durante este periodo se recopilaban datos relacionados con la disponibilidad de los equipos, tiempo de inactividad,

frecuencia de fallos, costos de mantenimiento y tiempos de respuesta ante fallas, utilizando los registros operativos y reportes históricos de la empresa.

Este periodo permitió establecer una línea base representativa del comportamiento real de los equipos antes de la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing.

5. Intervención: implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing:

La intervención experimental se llevó a cabo durante un periodo de doce semanas en las cuales se implementaron de manera progresiva las metodologías TPM y Lean Manufacturing en el área de servicio. Durante este periodo se ejecutaron actividades de capacitación del personal, estandarización de procedimientos de mantenimiento, aplicación de mantenimiento preventivo y autónomo así como acciones orientadas a la eliminación de desperdicios y mejora continua.

El tiempo asignado a la intervención fue considerado suficiente para permitir la adopción operativa de las metodologías y generar cambios observables en los indicadores de desempeño de los equipos.

6. Fase de postest:

La fase de post-test se desarrolló durante un periodo de cuatro semanas posteriores a la implementación en las cuales se realizó la medición final de los mismos indicadores evaluados en la fase de pre-test.

La duración de esta fase permitió registrar el desempeño de los equipos bajo condiciones operativas estables, posteriores a la intervención, garantizando la comparabilidad de los resultados obtenidos.

7. Procedimiento de análisis de resultados:

El análisis de resultados se realizó mediante la comparación cuantitativa de los valores obtenidos en las fases de pre-test y post-test. Los datos recolectados fueron

organizados y analizados utilizando tablas y gráficas lo que permitió identificar variaciones en los indicadores de desempeño y evaluar el impacto de la intervención de manera objetiva.

8. Duración del experimento:

La duración total del experimento fue de veinte semanas integrando las fases de pre-test, intervención y post-test. Este periodo incluyó cuatro semanas para el diagnóstico inicial (pre-test), doce semanas para la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing y cuatro semanas para la evaluación final (post-test).

La duración del experimento fue considerada adecuada para evaluar el impacto de la intervención sobre la efectividad de los equipos permitiendo observar cambios sostenidos en los indicadores operativos sin afectar la continuidad de las operaciones de la empresa.

7.9 Instrumento de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos utilizados en esta investigación constituyeron herramientas técnicas y operativas diseñadas para obtener información objetiva, sistemática y verificable sobre el desempeño de los equipos del área de servicio de la empresa Pozos Profundos Javier Angulo así como para evaluar los efectos de la implementación de las metodologías TPM (Mantenimiento Productivo Total) y Lean Manufacturing con enfoque en la sustentabilidad.

Los instrumentos fueron aplicados en las diferentes fases del diseño experimental (pre-test, intervención y post-test) y permitieron la recopilación de datos relacionados con aspectos operativos, técnicos, ambientales, de seguridad y de gestión del mantenimiento. A continuación se describen los principales instrumentos empleados organizados según su finalidad metodológica.

Instrumento de diagnóstico para mantenimiento preventivo:

- Instrumento de diagnóstico para mantenimiento preventivo: Permitió establecer la línea base del estado de los equipos, considerando historial de fallas, frecuencia de intervenciones y condiciones operativas, facilitando la identificación de áreas críticas.
- Formato de inventario de equipos: Registro detallado de cada equipo, su ubicación, estado operativo y frecuencia de mantenimiento, fundamental para la trazabilidad y gestión técnica del parque de maquinaria.

Instrumentos de control y estandarización operativa:

- Guías de verificación y listas de chequeo (checklists): Utilizadas para inspeccionar y validar el cumplimiento de procedimientos estandarizados, apoyando la implementación del mantenimiento autónomo y planificado.
- Formato de plan de mantenimiento: Documento estructurado que integró la programación del mantenimiento preventivo y autónomo, con fechas, responsables y tipo de intervención.
- Formatos de mantenimiento autónomo: Diseñados para que los operarios registraran actividades básicas de mantenimiento, fomentando la participación directa del personal en el cuidado de los equipos.

Instrumentos de gestión ambiental y sostenibilidad:

- Bitácora de residuos de manejo especial: Documento para el registro sistemático de residuos generados durante las operaciones, orientado al control ambiental y cumplimiento normativo.
- Mapa de procesos de protección ambiental: Herramienta visual para identificar actividades con impacto ambiental y definir acciones de mitigación.
- Inventario de sustancias químicas: Instrumento para controlar el uso, almacenamiento y manejo adecuado de productos químicos, minimizando riesgos ambientales y de salud ocupacional.

Instrumentos de seguridad y salud ocupacional:

- Matriz de elementos de protección personal (EPP): Herramienta para verificar la disponibilidad y uso adecuado del equipo de protección según las actividades realizadas.
- Matriz de identificación de peligros, valoración de riesgos y determinación de controles (IPVR): Permite analizar los riesgos presentes en las actividades operativas y establecer medidas preventivas.
- Manual de gestión de seguridad: Documento integrador que definió políticas, procedimientos y responsabilidades en materia de seguridad y salud ocupacional, alineado con los principios del TPM.

Instrumentos de seguimiento, control y análisis de resultados:

- Dashboard de mantenimiento: Tablero de control que concentró los principales indicadores del sistema TPM-Lean, tales como tiempo medio entre fallas (MTBF), tiempo medio de reparación (MTTR), cumplimiento del plan de mantenimiento y eficiencia global de los equipos (OEE).
- Formato de control de entrada y salida de vehículos: Permite registrar los movimientos del parque vehicular, contribuyendo a mejorar la disponibilidad y eficiencia de uso.
- Boleta de desempeño del jefe de mantenimiento: Instrumento de evaluación que integró indicadores de gestión, cumplimiento de objetivos y eficacia operativa del área.
- Formatos de seguimiento, control, sostenibilidad y mejora continua: Utilizados para monitorear el avance del proyecto, evaluar resultados y asegurar la permanencia del sistema implementado.
- Diagramas de Ishikawa: Herramienta de análisis causa-efecto empleada para identificar las causas raíz de los principales problemas detectados y apoyar la toma de decisiones correctivas.

7.10 Análisis y procesamiento de la información

Para evaluar la significancia estadística de los cambios observados en la efectividad global de los equipos (OEE) antes y después de la implementación de la metodología TPM-Lean-Sustentabilidad se emplearon pruebas estadísticas inferenciales para muestras relacionadas.

Previamente se realizó una prueba de normalidad de los datos. En caso de que los datos presentaran una distribución normal se aplicó la prueba t de Student para muestras relacionadas. Cuando los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon.

El nivel de significancia estadística considerado fue $p < 0.05$ con el objetivo de determinar si los cambios observados en los indicadores fueron estadísticamente significativos y atribuibles a la intervención, y no producto del azar.

7.11 Metodología

La metodología de la presente investigación se estructuró en cuatro fases principales orientadas al diagnóstico, diseño, implementación y evaluación del sistema TPM-Lean Manufacturing con enfoque de sustentabilidad en el área de servicio de la empresa Pozos Profundos Javier Angulo.

Cada fase incluyó la aplicación de instrumentos técnicos, administrativos, operativos y ambientales desarrollados específicamente para la investigación permitiendo recopilar información, controlar actividades, evaluar indicadores y dar seguimiento a las acciones de mejora continua.

Los instrumentos utilizados fueron organizados en formatos operativos y administrativos integrados dentro del Sistema Integral de Gestión (SIG), los cuales se presentan en la sección de anexos.

7.11.1 Fase 1: Desarrollo de instrumento de evaluación y diagnóstico

Objetivo:

Evaluar el estado inicial de las condiciones operativas, técnicas y de mantenimiento del área de servicio de la empresa Pozos Profundos Javier Angulo mediante la aplicación de instrumentos de diagnóstico, auditoría, inspección y control operativo, con la finalidad de identificar fallas recurrentes, deficiencias en los procesos de mantenimiento, áreas de riesgo operativo, incumplimientos en seguridad industrial y oportunidades de mejora relacionadas con los principios de TPM, Lean Manufacturing y sustentabilidad.

Esta fase permitió establecer una línea base del comportamiento operativo de los equipos y del desempeño general del área de servicio antes de la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing, facilitando posteriormente la comparación de resultados obtenidos en las etapas de intervención y evaluación.



Figura 15: Revisión e inspección del compartimiento del motor de grúa hidráulica.

Fuente: Elaboración propia

Durante la etapa diagnóstica se realizó la inspección visual de la grúa hidráulica instalada en la unidad de servicio con la finalidad de identificar las condiciones generales de operación, estado físico y necesidades de mantenimiento preventivo de los componentes mecánicos e hidráulicos.



Figura 16: Proceso de inspección técnica del sistema operativo de grúa hidráulica

Fuente: Elaboración propia

La revisión técnica de la grúa hidráulica permitió evaluar las condiciones operativas de los componentes mecánicos y estructurales utilizados en las actividades de carga y servicio dentro del área operativa.

Instrumentos aplicados en la fase diagnóstica

Anexo 1. Diagnóstico inicial de las condiciones operativas y de mantenimiento del área de servicio pozos profundos Javier Angulo

Permitió evaluar las condiciones iniciales de operación y mantenimiento de los equipos del área de servicio mediante la identificación de fallas, deficiencias operativas y necesidades de mantenimiento preventivo y correctivo.

Anexo 2. Check list de auditoría de 5's

Permitió evaluar las condiciones de orden, limpieza, clasificación, estandarización y disciplina dentro del área de servicio con base en los principios de Lean Manufacturing y mejora continua.

Anexo 3. Formato de control y registro de actividades operativas y mantenimiento

Permitió documentar las actividades operativas y de mantenimiento realizadas durante la etapa diagnóstica identificando condiciones iniciales de operación y fallas presentes en los equipos.

Anexo 4. Informe de auditoría interna

Permitió documentar los resultados obtenidos durante las auditorías internas realizadas al sistema TPM-Lean Manufacturing, identificando hallazgos, observaciones y oportunidades de mejora.

Anexo 5. Matriz de indicadores

Permitió establecer la línea base de los principales indicadores relacionados con mantenimiento, operación, seguridad industrial y desempeño de los equipos antes de la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing.

7.11.2 Fase 2: Diseño del Sistema TPM-Lean Manufacturing

Objetivo:

Diseñar un sistema integral de gestión operativa basado en la metodología TPM y herramientas Lean Manufacturing mediante la estructuración de instrumentos administrativos, operativos y de seguridad industrial que permitieran fortalecer el

mantenimiento preventivo, el control operacional, la estandarización de actividades, la seguridad del personal y el seguimiento de indicadores de desempeño dentro del área de servicio.

Durante esta fase se desarrolló la organización documental y operativa necesaria para la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing integrando procedimientos orientados al mantenimiento autónomo, control de equipos, gestión de riesgos, control de proveedores, uso adecuado de equipo de protección personal y evaluación continua de indicadores de mantenimiento y seguridad industrial.



Figura 17: Registro de observaciones técnicas durante la inspección de la unidad de servicio.

Fuente: Elaboración propia

Durante el levantamiento de información se realizó el registro manual de observaciones técnicas relacionadas con las condiciones operativas, funcionamiento y estado general de los equipos inspeccionados dentro del área de servicio.



Figura 18: Instrumento de recopilación de datos aplicado durante la fase diagnóstica.

Fuente: Elaboración propia

Se utilizaron formatos de inspección y recopilación de información técnica para documentar las actividades realizadas durante la fase diagnóstica, permitiendo establecer registros operativos y de mantenimiento inexistentes previamente en la empresa.

Instrumentos diseñados durante esta fase

Anexo 6. Registro de proveedores

Permitió llevar el control y seguimiento de los proveedores relacionados con materiales, herramientas, refacciones y servicios utilizados en las actividades de mantenimiento y operación.

Anexo 5. Matriz de indicadores

Permitió estructurar el sistema de seguimiento y control de indicadores utilizados para evaluar el desempeño operativo, mantenimiento y cumplimiento de objetivos del sistema TPM-Lean Manufacturing.

Anexo 7. Check list de elementos de protección personal

Permitió definir los criterios de verificación y control relacionados con el uso obligatorio de equipo de protección personal dentro de las actividades operativas y de mantenimiento.

Anexo 8. Inspección, estado y uso de EPP

Permitió establecer los lineamientos de supervisión y control para verificar las condiciones físicas y el uso adecuado del equipo de protección personal dentro del sistema de seguridad industrial.

Anexo 17. FORMATO 17

Permitió registrar y controlar actividades operativas y administrativas relacionadas con el sistema TPM-Lean Manufacturing dentro del área de servicio.

Anexo 18. FORMATO 18

Permitió documentar actividades de control operativo y seguimiento relacionadas con los procedimientos implementados durante la investigación.

Anexo 19. FORMATO 19

Permitió llevar el registro y control de actividades operativas y administrativas vinculadas con el mantenimiento y seguridad industrial.

Anexo 20. FORMATO 20

Permitió documentar actividades operativas, de seguridad y control relacionadas con la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing.

7.11.3 Fase 3: Implementación del Sistema TPM-Lean Manufacturing

Objetivo:

Implementar el sistema TPM-Lean Manufacturing en el área de servicio mediante la ejecución de inspecciones preoperacionales, actividades de mantenimiento preventivo, controles de seguridad industrial y seguimiento operativo de equipos y herramientas con la finalidad de mejorar la disponibilidad de los equipos, reducir fallas operativas, fortalecer la seguridad del personal y optimizar las condiciones generales de operación y mantenimiento.

Esta fase se enfocó en la aplicación práctica de los instrumentos diseñados previamente, permitiendo establecer rutinas de inspección, verificación y control para los diferentes equipos utilizados en las actividades de servicio. Se fortaleció la cultura de prevención de fallas, orden, limpieza, disciplina operativa y cumplimiento de medidas de seguridad industrial alineadas con los principios TPM y Lean Manufacturing.

Instrumentos utilizados durante la implementación

Anexo 9. Inspección preoperacional equipo de oxicorte

Permitió inspeccionar las condiciones operativas y de seguridad del equipo de oxicorte antes de su utilización, verificando su funcionamiento y cumplimiento de medidas preventivas.

Anexo 10. Inspección preoperacional de compresores portátiles

Permitió verificar el estado operativo y condiciones de seguridad de los compresores portátiles antes de iniciar actividades operativas y de mantenimiento.

Anexo 11. Inspección preoperacional de cortadora

Permitió inspeccionar el funcionamiento, condiciones mecánicas y aspectos de seguridad de la cortadora previo a su operación.

Anexo 12. Inspección preoperacional de pulidora

Permitió evaluar las condiciones de operación y seguridad de la pulidora mediante revisiones preventivas antes de su utilización.

Anexo 13. Inspección preoperacional de plantas electricas

Permitió verificar las condiciones operativas, mecánicas y de seguridad de las plantas eléctricas antes de su puesta en funcionamiento.

Anexo 14. Inspección preoperacional de motosierra

Permitió inspeccionar el estado general, funcionamiento y condiciones de seguridad de la motosierra antes de realizar actividades operativas.

Anexo 15. Inspección preoperacional taller máquinas y herramientas

Permitió evaluar las condiciones generales de operación, seguridad y funcionamiento de las máquinas y herramientas utilizadas dentro del taller.

Anexo 16. Inspección preoperacional de herramientas menores

Permitió verificar las condiciones físicas y operativas de las herramientas menores utilizadas durante las actividades de mantenimiento y operación.

Anexo 3. Formato de control y registro de actividades operativas y mantenimiento

Permitió registrar las actividades de mantenimiento e intervención ejecutadas durante la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing documentando responsables, condiciones de operación y acciones realizadas.

Anexo 7. Check list de elementos de protección personal

Permitió verificar diariamente el cumplimiento del uso de equipo de protección personal durante la ejecución de actividades operativas y de mantenimiento.

Anexo 8. Inspección, estado y uso de EPP

Permitió supervisar continuamente las condiciones físicas, disponibilidad y correcto uso del equipo de protección personal utilizado por el personal operativo y de mantenimiento.

7.11.4 Fase 4: Evaluación y validación estadística

Objetivo:

Evaluar el impacto de la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing mediante el análisis comparativo de indicadores operativos, registros de mantenimiento, auditorías internas y controles de seguridad industrial con el propósito de determinar la efectividad de las acciones implementadas sobre el desempeño de los equipos, la eficiencia operativa y las condiciones de seguridad dentro del área de servicio.

Durante esta fase se realizó el seguimiento y validación de los resultados obtenidos a través de herramientas de control y evaluación continua permitiendo medir el comportamiento de variables relacionadas con disponibilidad de equipos, frecuencia de fallas, cumplimiento de actividades de mantenimiento, condiciones de seguridad industrial y aplicación de prácticas Lean Manufacturing. La información obtenida fue utilizada para analizar el cumplimiento de los objetivos de la investigación y validar la efectividad del sistema implementado.

Instrumentos utilizados durante la implementación

Anexo 5. Matriz de indicadores

Permitió evaluar y comparar los resultados obtenidos en los indicadores de desempeño antes y después de la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing.

Anexo 4. Informe de auditoría interna

Permitió documentar los resultados finales de las auditorías realizadas al sistema implementado identificando cumplimiento, desviaciones y oportunidades de mejora.

Anexo 3. Formato de control y registro de actividades operativas y mantenimiento

Permitió analizar el cumplimiento de las actividades operativas y de mantenimiento realizadas durante la implementación y evaluación del sistema TPM-Lean Manufacturing.

Anexo 8. Inspeccion, estado y uso de EPP

Permitió evaluar el cumplimiento de las condiciones de seguridad industrial y el uso adecuado del equipo de protección personal posterior a la implementación del sistema.

Anexo 2. Check list de auditoría de 5's

Permitió evaluar el nivel de cumplimiento de las prácticas de orden, limpieza, estandarización y disciplina implementadas mediante Lean Manufacturing dentro del área de servicio.

VIII. RESULTADOS

La presente investigación tuvo como finalidad implementar un modelo de gestión operativa basado en la integración de las metodologías TPM (Total Productive Maintenance), Lean Manufacturing y criterios de sustentabilidad en el área de servicio de la empresa Pozos Profundos Javier Angulo con el propósito de incrementar la efectividad global de los equipos mediante la mejora de la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia operativa.

El desarrollo de este capítulo responde metodológicamente a los objetivos específicos planteados en la investigación y al diseño cuasi experimental pre-test/post-test con un solo grupo establecido en el apartado metodológico. En este sentido los resultados fueron estructurados en función del diagnóstico inicial de los equipos, el diseño del sistema TPM-Lean, la implementación operativa y la evaluación comparativa de los indicadores de desempeño.

La evaluación se realizó utilizando como indicador principal la Efectividad Global de los Equipos (OEE), complementándose con indicadores asociados como MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time To Repair), disponibilidad operativa, tiempos muertos, frecuencia de fallas y variables relacionadas con sustentabilidad operativa.

Los resultados obtenidos permitieron identificar mejoras operativas significativas derivadas de la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing con enfoque sustentable evidenciando una reducción en pérdidas operativas, incremento en la disponibilidad de los equipos y mejoras en la eficiencia general del proceso de servicio.

8.1 Diagnóstico inicial de los equipos del área de servicio (Pre-test)

El diagnóstico inicial tuvo como propósito establecer una línea base cuantitativa y operativa del estado técnico de los equipos utilizados en las actividades de servicio de perforación de pozos profundos en la empresa Pozos Profundos Javier Angulo.

La evaluación diagnóstica se desarrolló durante un periodo de ocho semanas mediante observación directa, registros históricos de mantenimiento, inspecciones operativas y recopilación de información técnica relacionada con tiempos de operación, fallas mecánicas, mantenimientos correctivos y disponibilidad de los equipos.

Con la finalidad de garantizar un proceso sistemático de recopilación y análisis de información se estableció un cronograma de actividades diagnósticas orientado a evaluar progresivamente las condiciones operativas, los indicadores de desempeño y las principales pérdidas asociadas al sistema de mantenimiento existente.

El análisis se centró en los equipos de perforación y servicio considerados críticos para la continuidad operativa de la empresa debido a que su indisponibilidad impactaba directamente en los tiempos de ejecución de los servicios técnicos y en la productividad general de las operaciones.

Tabla 8: Impacto ambiental (manejo de residuos)

Semana	Actividad desarrollada	Objetivo
1	Recopilación de registros históricos	Identificar antecedentes de fallas
2	Inspección técnica de equipos	Evaluar condiciones operativas
3	Monitoreo de tiempos muertos	Detectar pérdidas operativas
4	Registro de frecuencia de fallas	Identificar equipos críticos
5	Evaluación de disponibilidad	Determinar tiempo efectivo de operación
6	Identificación de desperdicios Lean	Detectar actividades sin valor agregado
7	Evaluación ambiental operativa	Identificar impactos ambientales
8	Cálculo de indicadores OEE, MTBF y MTTR	Establecer línea base cuantitativa

Fuente: Elaboración propia

Durante el proceso de diagnóstico se identificó que la empresa operaba bajo un esquema predominantemente reactivo caracterizado por la inexistencia de

programas formales de mantenimiento preventivo, ausencia de estandarización operativa y limitada documentación técnica de las intervenciones realizadas.

Asimismo se detectó que gran parte de las actividades de mantenimiento se ejecutaban únicamente después de la ocurrencia de fallas mecánicas generando paros no programados, incremento en costos operativos y afectaciones en la continuidad del servicio.

8.1.1 Condiciones operativas iniciales

Las condiciones operativas iniciales reflejaron un nivel considerable de desgaste mecánico en diversos componentes críticos de los equipos de perforación, particularmente en sistemas hidráulicos, componentes de transmisión y sistemas de bombeo.

Durante las inspecciones realizadas se identificaron fugas de aceite hidráulico, desgaste prematuro de componentes móviles, acumulación de residuos y deficiencias en la limpieza general de los equipos.

Adicionalmente se observó una limitada cultura de mantenimiento autónomo por parte del personal operativo debido a la inexistencia de procedimientos estandarizados para inspección, lubricación y detección temprana de anomalías.

Estas condiciones incidían directamente en la disponibilidad operativa de los equipos y en la recurrencia de fallas durante las jornadas de trabajo.

Como se observa en la Figura 19, el diagnóstico inicial se estructuró mediante una secuencia metodológica orientada a recopilar información técnica, operacional y ambiental de los equipos evaluados.

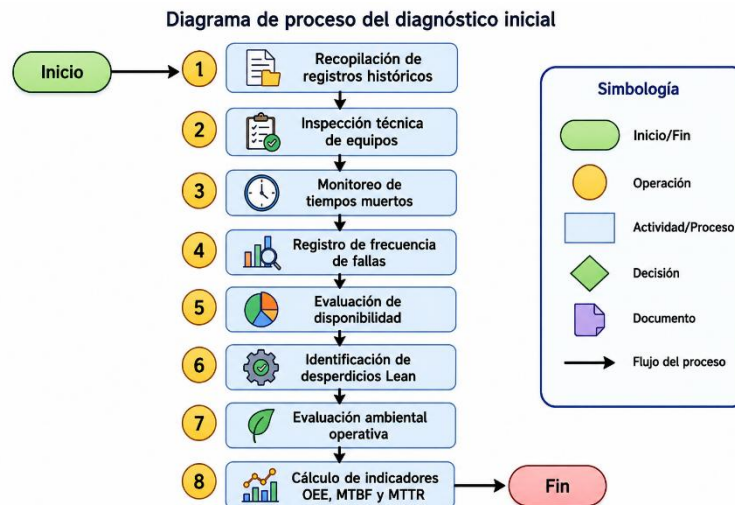


Figura 19: Metodología aplicada para el diagnóstico inicial

Fuente: Elaboración propia

8.1.2 Caracterización operativa inicial del área de servicio

Como parte del diagnóstico inicial se realizó una caracterización operativa de las condiciones de trabajo presentes en el área de servicio de la empresa. El análisis permitió identificar deficiencias relacionadas con mantenimiento reactivo, ausencia de controles preventivos y limitada estandarización de las actividades operativas.

Tabla 9: Caracterización inicial del sistema de mantenimiento

Variable evaluada	Condición observada
Tipo de mantenimiento predominante	Correctivo-reactivo
Existencia de mantenimiento preventivo	Parcial
Estandarización de procesos	Baja
Registros históricos de fallas	Incompletos
Capacitación técnica del personal	Limitada
Aplicación de herramientas Lean	No implementadas
Gestión ambiental operativa	Deficiente

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 9, la empresa presentaba una alta dependencia del mantenimiento correctivo, lo cual ocasionaba interrupciones frecuentes y dificultades en la continuidad operativa.

Asimismo la inexistencia de procedimientos formalizados dificultaba el control técnico de las intervenciones realizadas y limitaba la trazabilidad de las actividades de mantenimiento.

8.1.3 Disponibilidad inicial de los equipos

La disponibilidad operativa inicial fue calculada considerando el tiempo programado de operación y el tiempo efectivo de funcionamiento de los equipos.

Los resultados mostraron que los equipos presentaban frecuentes interrupciones derivadas de fallas mecánicas y mantenimientos correctivos no planificados.

Tabla 10: Disponibilidad inicial de los equipos de servicio

Equipo	Tiempo programado (h)	Tiempo efectivo (h)	Disponibilidad (%)
Equipo 1	240	182	75.83
Equipo 2	240	176	73.33
Equipo 3	240	185	77.08
Promedio	240	181	75.41

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 10 y Figura 20, el Equipo 2 presentó el menor nivel de disponibilidad operativa, evidenciando una mayor incidencia de interrupciones derivadas de fallas correctivas.

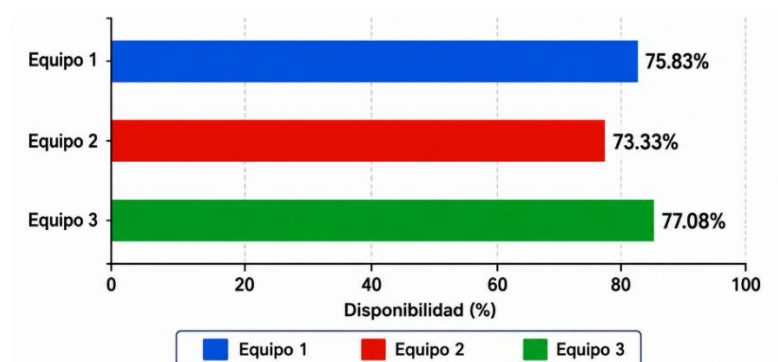


Figura 20: Metodología aplicada para el diagnóstico inicial

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indicaron una disponibilidad promedio de 75.41%, valor inferior a los estándares recomendados para operaciones de servicio continuo.

La principal causa de indisponibilidad estuvo asociada a paros correctivos no programados y retrasos derivados de actividades de reparación.

8.1.4 Tiempos muertos y frecuencia de fallas

Durante el periodo diagnóstico se registraron múltiples eventos de interrupción operativa relacionados con fallas hidráulicas, problemas eléctricos y desgaste mecánico de componentes críticos.

Los tiempos muertos acumulados impactaron directamente en la programación de servicios y en la productividad operativa.

Tabla 11: Registro inicial de tiempos muertos operativos

Causa de interrupción	Tiempo acumulado (h)	Porcentaje (%)
Reparaciones correctivas	24	41
Espera de refacciones	11	19
Ajustes mecánicos	9	15
Fallas hidráulicas	8	14
Problemas eléctricos	7	11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Frecuencia de fallas registradas durante el diagnóstico inicial

TIPO DE FALLA	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
FUGAS HIDRÁULICAS	18	31
DESGASTE MECÁNICO	15	26
FALLAS ELÉCTRICAS	11	19
PROBLEMAS DE LUBRICACIÓN	8	14
SOBRECALENTAMIENTO	6	10

Fuente: Elaboración propia

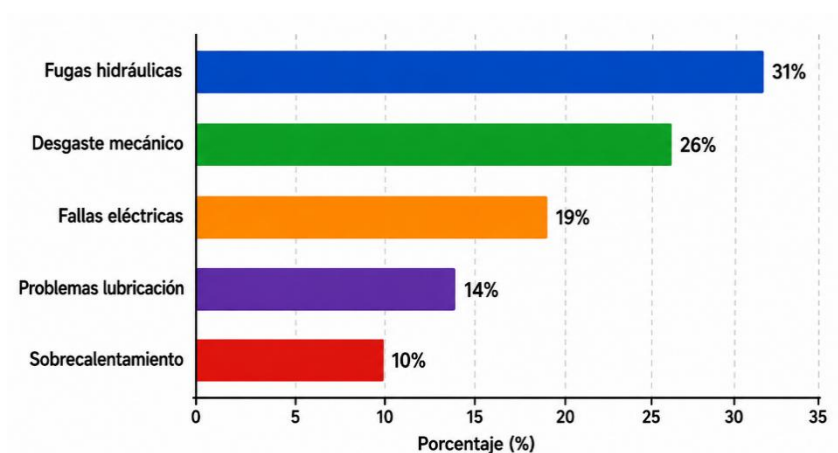


Figura 21: Diagrama de Pareto de fallas registradas durante el diagnóstico inicial

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 12 y Figura 21, las fugas hidráulicas y el desgaste mecánico concentraron aproximadamente el 57% de las fallas detectadas durante el diagnóstico inicial.

El análisis de Pareto permitió identificar los componentes críticos que debían priorizarse durante la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing.

8.1.5 Cálculo inicial del OEE

La Efectividad Global de los Equipos (OEE) fue calculada considerando los componentes de disponibilidad, rendimiento y calidad.

Tabla 13: Cálculo inicial del OEE

Indicador	Valor (%)
Disponibilidad	75.41
Rendimiento	79.20
Calidad	91.30
OEE inicial	54.49

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 13 y Figura 22, el componente con menor desempeño correspondió a la disponibilidad operativa, afectando directamente la efectividad global de los equipos.

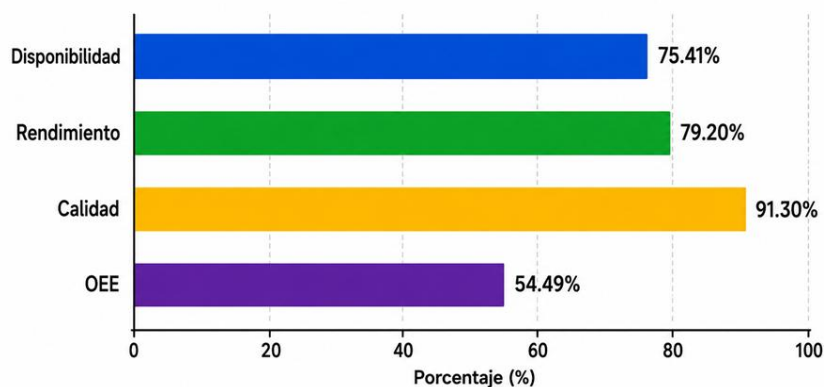


Figura 22: Representación gráfica de los componentes del OEE inicial

Fuente: Elaboración propia

Los resultados mostraron un OEE inicial de 54.49%, indicando un nivel bajo de efectividad operativa.

8.1.6 Indicadores MTBF y MTTR

Con la finalidad de evaluar la confiabilidad de los equipos se calcularon los indicadores MTBF y MTTR.

Tabla 14: Indicadores de confiabilidad inicial

Indicador	Resultado
MTBF	32 horas
MTTR	6.8 horas

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 14 y Figura 23, el tiempo promedio entre fallas fue considerablemente bajo en comparación con el tiempo requerido para ejecutar reparaciones.

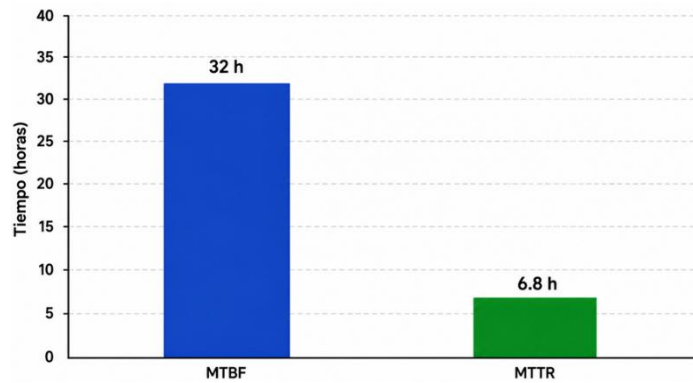


Figura 23: Comparación gráfica de MTBF y MTTR

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indicaron una baja confiabilidad operativa y tiempos prolongados de reparación.

8.1.7 Análisis de pérdidas operativas mediante enfoque Lean

A través del diagnóstico operacional se identificaron diversas pérdidas relacionadas con desperdicios Lean presentes en las actividades de servicio.

Tabla 15: Desperdicios Lean identificados en el área de servicio

Tipo de desperdicio	Evidencia observada	Impacto operativo
Esperas	Retrasos por reparación y refacciones	Incremento de tiempos muertos
Movimiento innecesario	Traslado excesivo de herramientas	Pérdida de tiempo operativo
Sobreprocesamiento	Repetición de ajustes correctivos	Incremento de costos
Defectos	Reincidencia de fallas mecánicas	Baja confiabilidad
Talento no utilizado	Escasa participación operativa	Baja cultura TPM

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 15 y Figura 24, las pérdidas relacionadas con esperas y fallas correctivas representaron el principal desperdicio operativo dentro del sistema analizado.



Figura 24: Esquema de pérdidas operativas detectadas mediante enfoque Lean

Fuente: Elaboración propia

Estas pérdidas incidían directamente en la disponibilidad de los equipos y en la eficiencia general del sistema operativo.

8.1.8 Problemáticas ambientales observadas

Durante el diagnóstico también se identificaron problemáticas relacionadas con sustentabilidad operativa.

Tabla 16: Diagnóstico ambiental inicial del área de servicio

Aspecto ambiental	Condición identificada	Nivel de impacto
Fugas de aceite hidráulico	Frecuentes	Alto
Manejo de residuos	No controlado	Alto
Consumo energético	Elevado	Medio
Orden y limpieza	Deficiente	Medio
Uso eficiente de materiales	Limitado	Medio

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 16 y Figura 25, las principales problemáticas ambientales estuvieron relacionadas con fugas hidráulicas y manejo inadecuado de residuos industriales.

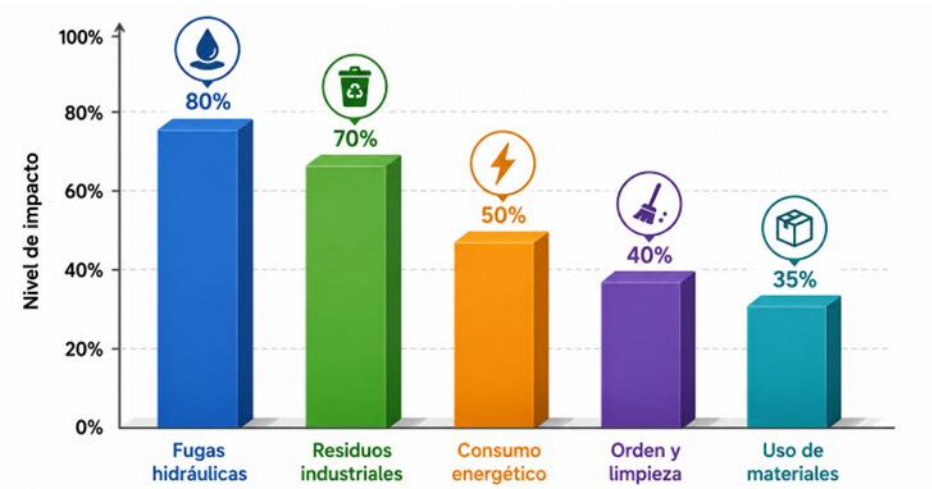


Figura 25: Principales problemáticas ambientales identificadas

Fuente: Elaboración propia

Estas condiciones evidenciaron la necesidad de integrar criterios de sustentabilidad dentro del sistema de mantenimiento.

8.2 Comparación de resultados pre-test y post-test

Con el propósito de evaluar el impacto de la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing se realizó una comparación de los principales indicadores de desempeño operativo obtenidos durante las fases de pre-test y post-test. La Tabla 16 presenta los resultados comparativos de disponibilidad, rendimiento, calidad, OEE, MTBF, MTTR, frecuencia de fallas y tiempo muerto acumulado, permitiendo identificar las mejoras alcanzadas después de la intervención.

Tabla 17: Comparación de los indicadores de desempeño operativo pre-test y post-test

Indicador	Pre-test	Post-test	Diferencia (puntos o unidades)	Variación (%)
Disponibilidad	75.41%	84.62%	+9.21	+12.21%
Rendimiento	79.20%	86.40%	+7.20	+9.09%
Calidad	91.30%	94.10%	+2.80	+3.07%
OEE	54.49%	65.28%	+10.79	+19.80%
MTBF	32 h	57 h	+25 h	+78.13%
MTTR	6.8 h	3.9 h	-2.9 h	-42.65%
Fallas mensuales	58	31	-27	-46.55%
Tiempo muerto acumulado	59 h	28 h	-31 h	-52.54%

Fuente: Elaboración propia

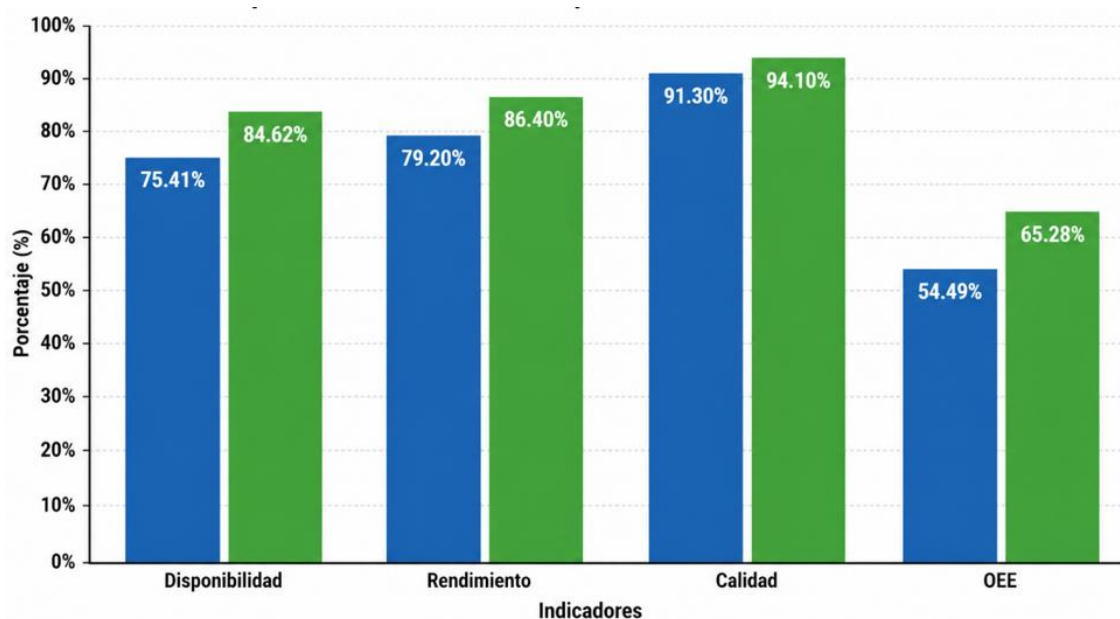


Figura 26: Comparación del OEE antes y después de la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 17 y la Figura 26 la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing generó mejoras significativas en los indicadores de desempeño operativo evaluados. El indicador de Efectividad Global de los Equipos (OEE) incrementó de 54.49% en la etapa pre-test a 65.28% en la etapa post-test, lo que representa una mejora absoluta de 10.79 puntos porcentuales. Este resultado evidencia un fortalecimiento de la capacidad operativa de los equipos mediante la reducción de pérdidas asociadas a fallas, tiempos muertos y actividades que no agregaban valor.

Asimismo la disponibilidad operativa aumentó de 75.41% a 84.62%, mientras que el rendimiento pasó de 79.20% a 86.40% y la calidad de 91.30% a 94.10%. Estos resultados reflejan el efecto positivo de las acciones desarrolladas durante la implementación particularmente la aplicación de mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo, estandarización de actividades, inspecciones periódicas

y herramientas Lean Manufacturing orientadas a la eliminación de desperdicios operativos.

La mejora observada en los componentes del OEE confirma que la integración de TPM y Lean Manufacturing contribuyó al incremento de la eficiencia operativa del área de servicio, favoreciendo un mayor aprovechamiento de los recursos disponibles y una reducción de las pérdidas que afectaban el desempeño de los equipos durante la fase diagnóstica. En consecuencia, los resultados obtenidos respaldan el cumplimiento del objetivo de incrementar la efectividad global de los equipos mediante la implementación del sistema propuesto.

IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

El diagnóstico inicial permitió identificar que los equipos del área de servicio operaban bajo un esquema predominantemente reactivo, caracterizado por bajos niveles de disponibilidad operativa, alta recurrencia de fallas mecánicas y limitada estandarización de las actividades de mantenimiento. El valor inicial del indicador OEE reflejó pérdidas significativas relacionadas con tiempos muertos, interrupciones no programadas y deficiencias en las estrategias preventivas evidenciando la necesidad de implementar un sistema integral orientado a la mejora continua y al fortalecimiento de la confiabilidad operativa.

El diseño del sistema TPM-Lean Manufacturing con enfoque sustentable permitió estructurar una estrategia integral enfocada en reducir pérdidas operativas, fortalecer las actividades preventivas y mejorar la eficiencia de los equipos mediante la integración de mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo, herramientas Lean Manufacturing y metodología 5S. La incorporación de prácticas de organización, inspección y mejora enfocada favoreció el establecimiento de procedimientos operativos más estandarizados incrementando el control técnico de las actividades de mantenimiento y mejorando las condiciones generales del área de servicio.

La implementación operativa del sistema evidenció que la capacitación técnica y la participación del personal fueron elementos fundamentales para fortalecer las actividades de mantenimiento autónomo y preventivo. La aplicación de cronogramas, inspecciones periódicas, formatos de seguimiento y procedimientos estandarizados permitió disminuir la dependencia exclusiva del mantenimiento correctivo favoreciendo una operación más organizada, eficiente y orientada a la prevención de fallas. Asimismo la aplicación de la metodología 5S contribuyó significativamente a mejorar las condiciones de orden, limpieza y control visual dentro del área operativa.

La evaluación comparativa pre-test/post-test demostró que la implementación del sistema TPM-Lean Manufacturing generó mejoras importantes en el desempeño operativo de los equipos. Los resultados obtenidos evidenciaron incrementos en la disponibilidad operativa, reducción de tiempos muertos y disminución de fallas correctivas recurrentes. De igual manera el incremento del MTBF y la reducción del MTTR reflejaron una mejora significativa en la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos intervenidos fortaleciendo la continuidad operativa y la productividad general de los servicios de perforación.

Los resultados obtenidos permitieron validar la hipótesis planteada en la investigación debido a que la implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing contribuyó a incrementar la efectividad global de los equipos mediante la reducción de pérdidas operativas y el fortalecimiento de las actividades preventivas. El incremento alcanzado en el indicador OEE confirmó que la aplicación sistemática de estrategias TPM y herramientas Lean Manufacturing favoreció mejoras superiores al porcentaje establecido inicialmente en la hipótesis demostrando la efectividad de la propuesta implementada en el contexto operativo de la empresa.

La investigación también permitió demostrar que la implementación de estrategias TPM-Lean Manufacturing con enfoque sustentable generó beneficios que trascendieron el ámbito interno de la organización debido a que la mejora en la continuidad operativa y disponibilidad de los equipos fortaleció indirectamente la eficiencia de los servicios relacionados con infraestructura hídrica y perforación de pozos en Salvador Alvarado, Sinaloa. Asimismo la reducción de desperdicios, fugas hidráulicas y pérdidas operativas contribuyó al fortalecimiento de prácticas de sustentabilidad industrial orientadas al uso más eficiente de recursos materiales y energéticos.

9.2 Recomendaciones

Se recomendó fortalecer permanentemente las actividades de mantenimiento preventivo mediante la actualización continua de cronogramas, inspecciones técnicas y registros operativos con la finalidad de evitar el retorno a esquemas predominantemente correctivos que afecten la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

También se recomendó implementar progresivamente herramientas de mantenimiento predictivo basadas en monitoreo de condiciones operativas, análisis de vibraciones y evaluación térmica con el propósito de anticipar fallas críticas y reducir tiempos de intervención correctiva.

Se consideró necesario establecer un sistema digital de monitoreo continuo del indicador OEE y demás indicadores de mantenimiento permitiendo generar información operativa en tiempo real para fortalecer la toma de decisiones y el seguimiento técnico del desempeño de los equipos.

De igual manera se recomendó mantener programas permanentes de capacitación dirigidos al personal operativo y de mantenimiento enfocados en fortalecimiento de cultura TPM, mantenimiento autónomo, mejora continua y aplicación de herramientas Lean Manufacturing favoreciendo una mayor participación del personal en las actividades preventivas.

Se recomendó desarrollar auditorías internas periódicas relacionadas con la aplicación de TPM y metodología 5S con el objetivo de verificar el cumplimiento de procedimientos estandarizados y garantizar la sostenibilidad de las mejoras implementadas dentro del área de servicio.

Asimismo se sugirió ampliar gradualmente la implementación del sistema TPM- Lean Manufacturing hacia otras áreas operativas de la empresa particularmente en procesos relacionados con logística, almacenamiento y control de herramientas

permitiendo extender los beneficios obtenidos en productividad y organización operativa.

En relación con la sustentabilidad operativa, se recomendó fortalecer las estrategias de control ambiental mediante programas orientados a la reducción de fugas hidráulicas, manejo adecuado de residuos industriales y optimización del consumo energético, favoreciendo una operación más eficiente y ambientalmente responsable.

Se recomendó continuar desarrollando investigaciones relacionadas con mantenimiento industrial, productividad operativa y sustentabilidad aplicada al sector hidráulico y de perforación incorporando líneas de investigación orientadas a automatización industrial, mantenimiento inteligente e integración de tecnologías asociadas a la Industria 4.0.

X. CRONOGRAMA

Nº	ETAPA	Fecha Inicio	Fecha final	2024												2025							Responsables
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
1	Análisis del entorno y revisión del direccionamiento estratégico																						Resp. Calidad y Dirección
2	Mapa de procesos e identificación de procesos clave																						Resp. Calidad
3	Gestión de la documentación (información documentada de cada proceso)																						Resp. Calidad
4	Formación y sensibilización																						Resp. Calidad
5	Determinar los recursos requeridos por la organización (Recursos humanos)																						Resp. Calidad y Resp. Personal
6	Infraestructura y ambiente de trabajo																						Resp. Calidad y Mantenimiento
7	Relación con las partes interesadas																						Resp. Calidad y Ventas
8	Planificación y control operacional																						Resp. Calidad y producción
9	Control de los procesos, productos y servicios																						Resp. Calidad y producción
10	Control de las salidas no conformes																						Resp. Calidad
11	Elaboración de la matriz de riesgos																						Resp. Calidad
12	Auditoría interna																						Resp. Calidad
13	Revisión por la dirección																						Resp. Calidad
14	No conformidades y acciones correctivas																						Resp. Calidad
15	Mejora continua																						Entidad certificadora
	Auditoría externa																						Entidad certificadora

Figura 27: Cronograma de actividades

XI. REFERENCIAS

- Acua Servicios Hidráulicos. (s.f.). *Expertos en perforar pozos profundos*.
<https://acuaservicioshidraulicos.com/nosotros/>
- AENOR. (2018a). *UNE-EN 13306:2018. Mantenimiento. Terminología de mantenimiento*. Asociación Española de Normalización.
<https://www.aenor.com>
- AENOR. (2018b). *UNE-EN ISO 45001:2018. Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Requisitos con orientación para su uso*. Asociación Española de Normalización.
- Agung, F. Y. & Siahaan, A. (2019). *Overall Equipment Effectiveness (OEE) through Total Productive Maintenance (TPM) practices: A case study in chemical industry*. *Emerging Markets: Business and Management Studies Journal*, 7(1), 23–36. <https://doi.org/10.33555/ijembm.v7i1.124>
- Amendola, L. (2006). *Indicadores de mantenimiento y confiabilidad operacional*. PDVSA-CIPM.
- Bamber, C., Castka, P., Sharp, J. & Motara, Y. (2019). Maintenance performance measurement: Using OEE to drive improvement. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 25(1), 35–52. <https://doi.org/10.1108/JQME-09-2017-0064>

- Barriga, A. L., Gonzales, M. G., & Ruiz-Ruiz, M. F. (2024). *Lean Six Sigma and TPM for the Improvement of Equipment Maintenance Process in a Service Sector Company: A Case Study*. En *Communications in Computer and Information Science* (Vol. 2070, pp. 155-169). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-56373-7_13
- Cabrera, J. A. (2018). *Mejora mediante herramientas de mantenimiento productivo total (TPM) en el área de peletizado de la empresa avícola El Rocío S.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo. <https://repositorio.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10906>
- Camisón, C. (2016). *Gestión de la calidad y diseño de organizaciones: Fundamentos, principios y aplicaciones*. Madrid: Ediciones Pirámide.
- Cárcel-Carrasco, F. J. (2016a). Evolución histórica del mantenimiento industrial en relación a la gestión del conocimiento. *DYNA*, 91(3), 301-302. <https://doi.org/10.6036/7827>
- Cárcel-Carrasco, F. J. (2016b). *Gestión del mantenimiento industrial*. Editorial Universitat Politècnica de València.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2018). *La infraestructura sostenible para el desarrollo en América Latina*. CEPAL.

Comisión Estatal del Agua de Sonora. (2025). *Perforación de nuevos pozos profundos en Hermosillo*. <https://phb.com.mx/2025/09/12/el-futuro-de-la-perforacion-de-pozos-en-mexico-y-sus-oportunidades/>

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2020). *Estadísticas del agua en México*. CONAGUA.

De la Vega Rodríguez, M. D. (2020). *Factores críticos de éxito para la implementación de lean manufacturing en empresas manufactureras de México* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Baja California]. Repositorio Institucional UABC. <http://repositorio.uabc.mx/handle/20.500.12930/622>

Desposorio Pulido, A. R., & Rosario Ulco, J. C. (2017). *Propuesta de mejora mediante herramientas de mantenimiento productivo total (TPM) para disminuir los costos de operaciones del taller de mantenimiento agrícola en la empresa Camposol S.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Laureate International Universities. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12741>

Dhillon, B. S. (2002). *Engineering reliability: New techniques and applications*. CRC Press.

Fernandes, M., Fernandes, M. A. F., Correia, D., & Teixeira, L. (2024). *Lean maintenance practices in the improvement of information management*

- processes: a study in the Facility Management division. Procedia Computer Science*, 232, 2269–2278. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.046>
- Fernandes, N., Silva, F. J. G. y Ferreira, L. P. (2020). TPM implementation and maintenance strategic plan – A case study. *Procedia Manufacturing*, 51, 1423–1429. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.198>
- Galdames, C., & Campos, S. (2023). Integrated Lean-Green practices and supply chain sustainability for manufacturing SMEs: A systematic literature review and research agenda. *Sustainability*, 15(16), 12192. <https://doi.org/10.3390/su151612192>
- García, P., & Martínez, J. (2021). Aplicación de herramientas Lean en mantenimiento industrial. *Revista de Ingeniería Industrial*, 14(2), 45-57.
- García Garrido, S. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Díaz de Santos.
- García-Alcaraz, J. L. (2019). Lean Manufacturing: conceptos, aplicaciones y tendencias. *Revista Internacional de Ingeniería de Producción*, 7(2), 15–29.
- García-Arroyo, J., & Puig, F. (2017). Barreras y facilitadores de la implantación del TPM. *Intangible Capital*, 13(1), 50–70. <https://doi.org/10.3926/ic.360>
- Gavilán, I. G. R. (2023). *Fundamentos del pensamiento “lean”*. <https://ignaciogavilan.com/fundamentos-del-pensamiento-lean/>

- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P. & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook*. McGraw-Hill.
- Gobierno de México. (2022). *Retos y oportunidades de la producción de petróleo y gas en México*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/766408/Retos-Oportunidades-YN-C-2022.pdf>
- Gobierno de Sinaloa. (2021). *Perforación de Pozo Profundo en el Ejido Plan de Oriente, Culiacán, Sinaloa*. <https://compranet.sinaloa.gob.mx/uploads/files/5d7fe1ccdcd582cf8c5811ade11d806.pdf>
- Gomaa, A. H. (2025). Enhancing Lean Performance through TPM–VSM Integration: A Case Study in Spare Parts Production. *International Journal of Data and Information Systems*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s42488-025-00001-2>
- Gómez, A. H. (2015). Factores críticos de éxito para el despliegue del mantenimiento productivo total. *Revista Ingeniería Industrial*, 36(2), 123-135. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0186104215000510>

- Halilintar, P., & Singgih, ML (2024). Effect of lean maintenance to reduce cost of sugar firms. *Bio-Algorithms and Med-Systems*, 14(1), 1048. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414601048>
- Harsanto, B. (2023). Electric power distribution maintenance model for industrial systems integrating TPM and RCM. *Procedia Manufacturing*, 51, 1423–1429. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.198>
- Hassan, M., & Abdelrahman, K. (2024). Simulation and Application of a TPM System for Oil Drilling Equipment. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, 12(4), 690–699. https://www.ijset.in/wp-content/uploads/IJSET_V12_issue4_690.pdf
- Hernández Palacios, P. R. (2013). *Lean manufacturing como estrategia competitiva: experiencias en el desempeño productivo de las empresas manufactureras en los municipios de Cuautitlán Izcalli, Naucalpan de Juárez y Tlalnepantla de Baz* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3593127>
- Herrera, L., & García, M. (2020). Implementación del mantenimiento productivo total (TPM) en la industria manufacturera: un enfoque de mejora continua. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Industrial*, 12(24), 45–60.
- Imai, M. (2012). *Kaizen: La clave de la ventaja competitiva japonesa*. McGraw-Hill.

- International Organization for Standardization [ISO]. (2014). ISO 55000: Gestión de activos — Visión general, principios y terminología. ISO.
- International Organization for Standardization [ISO]. (2015). ISO 14001:2015 Sistemas de gestión ambiental — Requisitos con orientación para nosotros.ISO.
- International Organization for Standardization [ISO]. (2018a). ISO 50001:2018 Sistemas de gestión de la energía — Requisitos con orientación para.ISO.
- International Organization for Standardization [ISO]. (2018b). ISO 45001:2018 Sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo — Requisitos con orientación para su uso.
- JIPM. (1971). *Total Productive Maintenance*. Japan Institute of Plant Maintenance.
- LeanTech. (2025, September 15). *How effective is predictive maintenance?* Lean Technologies. <https://leantech.com/how-effective-is-predictive-maintenance/>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.
- Lozano, R. (2015). A holistic perspective on corporate sustainability drivers. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 22(1), 32–44. <https://doi.org/10.1002/csr.1325>

- Marcano, A. J., & Martínez, J. C. (2024). Simulación y aplicación de un sistema TPM en equipos eléctricos de perforación de pozos petroleros mediante dinámica de sistemas. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 32(1), Art. 15. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052024000100215>
- Marín-García, J. A. & Mateo Martínez, R. (2013). *Barreras y facilitadores de la implantación del TPM. Intangible Capital*, 9(3), 823–853. <https://doi.org/10.3926/ic.360>
- Martínez, F., & Morales, J. (2020). Productividad y eficiencia en servicios de mantenimiento industrial. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Industrial*, 12(2), 55–68.
- Masoud, M., Al-Mohannadi, A. & Al-Naemi, B. (2023). *A Focus on The Preventive Maintenance Process*. IEOM Society. <https://ieomsociety.org/proceedings/2023lisbon/199.pdf>
- Mehrabi, H., & Aissa, B. (2015). Overall Environmental Equipment Effectiveness as a Metric of a Lean and Green Manufacturing System. *Sustainability*, 7(7), 9031–9047. <https://doi.org/10.3390/su7079031>
- Mendoza Espinoza, M. A. (2018). *Implementación del sistema de mantenimiento productivo total* [Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Matamoros, Tecnológico Nacional de México]. Repositorio Institucional TecNM. <https://repositorio.tecnm.mx/handle/123456789/1893>

- Mobley, R. K. (2002a). *An Introduction to Predictive Maintenance*. Butterworth-Heinemann.
- Mobley, R. K. (2002b). *Mantenimiento industrial y de instalaciones* (2.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Moldavska, A., & Welo, T. (2019). Lean-green integration and its impact on sustainability performance: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117696. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117696>
- Moore, R. (1999). *La combinación del TPM y del RCM. Estudio de un caso*. https://mantenimientoplanificado.com/tpm_archivos/la_coml_tpm%20rcmit%20consol.pdf
- Moreira Pino, O. A. (2022). *Aplicación de mantenimiento productivo total (TPM) para el mejoramiento de la productividad en una planta de procesamiento de arroz*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22961/1/UPS-GT003900.pdf>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM II)*. Industrial Press Inc.
- Moya, F. (2020). Aplicación de herramientas Lean Manufacturing para la optimización de procesos productivos. *Revista Ingeniería Industrial*, 18(35), 55–70.

- Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, 46(13), 3517–3535. <https://doi.org/10.1080/00207540601142645>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press.
- Nieto Serna, C. A., Montilla Perafán, D. C., Arce-Sarria, A., & Henao Pérez, C. J. (2024). Lean Manufacturing: una estrategia para la producción sostenible del agua. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 34(1), 123–142. <https://doi.org/10.18359/rcin.7271>
- Oceaneering. (2022). *Maintenance Optimization for Jack-Up Drilling Rig: Ensuring Regulatory Compliance while Improving Operational Efficiency (Case Study)*. Europe & Middle East. Oceaneering Solutions.
- Ohno, T. (1991). *El sistema de producción de Toyota: más allá de la producción a gran escala*. Díaz de Santos.
- Okpala, C. C., Chima, A. S. & Mgbemena, C. E. (2020). *The optimization of overall equipment effectiveness factors in a pharmaceutical company*. *Heliyon*, 6(4), e03796. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03796>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas.

- Organización Internacional del Trabajo [OIT]. (2019). *Seguridad y salud en el trabajo: Marco normativo y buenas prácticas*. OIT.
- Palmeira, T., Navas, H., & Morgado, T. (2015). Lean maintenance management activities in an oil terminal: Case study. *Recent Advances in Mechanics and Materials in Design*, 5579–5586. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3534.1449>
- Perforaciones Hidráulicas del Bajío [PHB]. (2025). *El futuro de la perforación de pozos en México y sus oportunidades*. <https://phb.com.mx/2025/09/12/el-futuro-de-la-perforacion-de-pozos-en-mexico-y-sus-oportunidades/>
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 179, 605–615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>
- Rahman, M. M. (2020). *The optimization of overall equipment effectiveness factors in a pharmaceutical company*. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 69(4), 775–792. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7170996/>
- Reliabilityweb. (2009). *Caso de Estudio sobre TPM*. <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/caso-de-estudio-sobre-tpm>
- Reyes Martínez, A., & Castro Ramírez, J. C. (2023). Manejo del agua y conservación de obras de riego en el D.R. 011, Guanajuato. *Entreciencias: Diálogos en la*

Sociedad del Conocimiento, 11(25), 1–13.

<https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2023.25.84872>

Rodríguez, A., & López, F. (2019). El OEE como herramienta de gestión en la mejora de procesos industriales. *Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 20(3), 45–54.

Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA*. Lean Enterprise Institute.

Ruiz de Chávez, J. (2019). La filosofía TPM como estrategia de gestión del mantenimiento en organizaciones industriales. *Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 20(2), 1–12.
<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019>

Sachs, J. D. (2015). *The age of sustainable development*. Columbia University Press.

Salgado, R., Ramírez, D., & Aguilar, M. (2022). Enfoques de productividad sustentable en empresas de servicios técnicos. *Revista Latinoamericana de Ingeniería y Gestión*, 8(1), 45–61.

Sánchez, J., & Pérez, M. (2017). Lean Manufacturing como filosofía de gestión en la mejora de procesos. *Revista Ingeniería y Competitividad*, 19(2), 123–134.
<https://doi.org/10.25100/iyc.v19i2.4351>

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2018). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. SEMARNAT.
- Shamim, M. M. R. (2025). Maintenance optimization in smart manufacturing facilities: A systematic review of Lean, TPM, and digitally-driven reliability models in industrial engineering. *Procedia CIRP*, 110, 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.12.015>
- Shingo, S. (1985). *A Study of the Toyota Production System: From an Industrial Engineering Viewpoint*. Productivity Press.
- Shingo, S. (1986). *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System*. Productivity Press.
- Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing: Paso a paso*. Marge Books.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2025). *Lean thinking and methods – TPM*. <https://www.epa.gov/sustainability/lean-thinking-and-methods-tpm>
- Vega, R. E. (2017). *Implementación de mantenimiento preventivo basado en TPM para mejorar la disponibilidad de maquinaria en la empresa Grúas América S.A.C.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional de la UNI. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/8829>

- Wibowo, A. & Simatupang, T. (2019). Overall Equipment Effectiveness (OEE) through Total Productive Maintenance (TPM) practices: A case study in chemical industry. *International Journal of Emerging Markets*, 14(6), 1008–1027. <https://doi.org/10.1108/IJOEM-01-2018-0014>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Free Press.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2005). *Lean Thinking: cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Gestión 2000.

XII. ANEXOS

ANEXOS DE DIAGNÓSTICO

Anexo 1. Diagnóstico inicial de las condiciones operativas y de mantenimiento del área de servicio Pozos Profundos Javier Angulo

Diagnóstico inicial de las condiciones operativas y de mantenimiento del área de servicio Pozos Profundos Javier Angulo														
No.	NUMERO DE REGISTRO	EQUIPO	MARCA	MODELO/SERIE	ALCANCE / CARACTERISTICAS	UBICACIÓN	STATUS	CONDICIÓN OPERATIVA INICIAL	FALLAS RECURRENTES DETECTADAS	TIEMPO MUERTO PROMEDIO	TIPO DE MANTENIMIENTO PREDOMINANTE	PROBLEMAS OPERATIVOS IDENTIFICADOS	IMPACTO OPERATIVO	CRITICIDAD
NO.1														
NO.2														
NO.3														
NO.4														
NO.5														
NO.6														
NO.7														
NO.8														
NO.9														
NO.10														

Anexo 2. Check list de auditoría de 5's

	CHECK LIST DE AUDITORIA DE 5's						CÓDIGO: AD-AR-FR1	
							FECHA DE ÚLTIMA REVISIÓN:	
							VERSIÓN: D	
Area							Fecha Proyecta	
Integrantes							Fecha Auditoria	
INSTRUCCIONES: Evaluar cada atributo en una escala de 6 a 10 en dónde 6 es no satisfactorio y 10 muy satisfactorio.								
SEPARAR / CLASIFICAR / ORGANIZAR								
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	Promedio
¿El material que se encuentra en el escritorio esta ordenado?								
¿Todos los artículos están en su lugar asignado?								
¿Existen artículos sin uso en el momento encima de los escritorios?								
¿Hay objetos en la oficina que no deberían estar?								
¿Los archiveros/cajones se encuentran organizados?								
permanecer en lugar								
Se encuentran más de 3 objetos personales en el lugar de trabajo								
La información en las pizarrones se encuentra ordenada y vigente								
Limpiar								
¿El área se encuentra libre de basura, comida?								
Estandarizar								
¿Hay orden y estandarización de las carpetas en archivero?								
Disciplina								
¿El área se encuentra libre de obstrucciones que impida el paso?								
En general, consideras que el lugar de trabajo está limpio y organizado								
¿El personal porta el gafete de la institución?								
								Prom. General
Auditor							Fecha Ternino	
Cargo							Tiempo	

Anexo 3. Formato de control y registro de actividades operativas y mantenimiento

NO OPERAR

Fecha: _____

Estado del Equipo: _____

Descripción de Actividades:

(Mencionar desarrollo del proceso, etc.)

Nombre y firma de las personas que desarrollan la actividad:

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

Responsable de la actividad (nombre y firma)

Utiliza el EPP necesario, bloquea toda fuente de energía y/o maquinaria (LOTO) antes de iniciar trabajos, señaliza, acordona el área y prohíbe el paso a personal no autorizado. Presta atención al trabajo que estas realizando. La prisa es el mejor aliado del accidente.

NO OPERAR

Fecha: _____

Estado del Equipo: _____

Descripción de actividades:

(Mencionar desarrollo del proceso, etc.)

Nombre de las personas que desarrollan la actividad:

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

Responsable de la actividad (nombre y firma)

Utiliza el EPP necesario, bloquea toda fuente de energía y/o maquinaria (LOTO) antes de iniciar trabajos, señaliza, acordona el área y prohíbe el paso a personal no autorizado. Presta atención al trabajo que estas realizando. La prisa es el mejor aliado del accidente.

Anexo 4. Informe de auditoría interna

 VERSIÓN: 01	INFORME DE AUDITORIA INTERNA	MSIG	CODIGO:
			FECHA

Proceso, área o documento: _____ Fecha: _____

Auditor: _____ Auditado: _____

Numeral de las Normas ISO u OHSAS: _____

RESULTADOS

Documentos auditados del sistema Integrado: _____

FORTALEZAS _____

DEBILIDADES _____

No conformidad: _____

Observaciones: _____

SEGUIMIENTO A AUDITORIAS ANTERIORES

No conformidad: _____ Observaciones: _____

Acciones Correctivas: _____ Acciones Preventivas: _____

Cierre: SI ☐ NO ☐ Cierre: SI ☐ NO ☐

OBSERVACIONES

FIRMA DEL AUDITOR FIRMA DEL AUDITADO

Anexo 5. Matriz de indicadores

NOMBRE: MATRIZ DE INDICADORES								
FECHA:								
PROCESO	INDICADOR (I)	FRECUENCIA	FUENTES	CALCULOS DE RESULTADOS	RANGOS DE VALORES			
					Aceptable	satisfactorio	Sobresaliente	
Estrategico y control gerencial	satisfacción de los clientes	(I 1)	Trimestral	quejas y reclamos de los clientes /comunicaciones referentes a la insatisfacción con la realización el producto/Reportes diarios de	90%	95%	100%	
	cumplimiento de compromisos	(I 2)	Trimestral	pagos a proveedores / revisiones Gerenciales	sumatoria de compromisos cumplidos /sumatoria de compromiso adquiridos.	80%	90%	100%
	Respuesta oportuna	(I 9)	Mensual	Requisiciones/remisiones	(# de requisiciones atendidas totalmente /numero total de requisiciones) *100	85%	90%	95%
	cumplimiento de tiempos	(I 10)	Mensual	Requisiciones/ordenes de compra /remisiones	(# de dias de demora para la entrega de la carga/numero maximo de dias de demora)*100	90%	95%	100%
Calidad	no conformidades	(I 16)	bimestral	documentos, registros,informes del proceso	sumatoria de no conformidades cerradas/sumatoria total de no	85%	90%	95%
	acciones correctivas	(I 17)	mensual	documentos, registros,informes del proceso	sumatoria de acciones preventivas total de acciones	90%	95%	100%
	acciones preventivas	(I 18)	mensual	documentos, registros,informes del proceso	sumatoria de acciones preventivas /sumatoria de total acciones	45%	55%	65%
Operativa	cumplimiento de tiempos	(I 10)	mensual	requisiciones/ ordenes de compra/remisiones	(# de dias de demora para la entrega de la carga/ numero maximo de dias de demora)*100	90%	95%	100%
	respuesta oportuna	(I 12)	bimestral	requisiciones. Remisiones	(# de dias de demora para la entrega de equipo /numero maximo de dias de demora)*100	90%	95%	100%
HSE	no conformidades	(I 16)	Bimestral	documentos, registros,informes del proceso	sumatoria de no conformidades cerradas /sumatoria total de no conformidades)*100	90%	95%	100%
	Acciones correctivas	(I 17)	Mensual	documentos, registros,informes del proceso	sumatoria de acciones correctivas implementadas /efectivamente/ sumatoria	90%	95%	100%
	Acciones Preventivas	(I 18)	Mensual	documentos, registros,informes del proceso	sumatoria de acciones preventivas/sumatoria total de acciones *100	45%	55%	65%
talento humano	desempeño del personal	(I 16)	semestral	resultados de la evaluación de desempeño por conductor promedio de evaluaciones de	numero de empleados con calificación menor a 4.0 / numero de empleados evaluados)*100	20%	15%	10%
	programas de capacitación	(I 17)	mensual	cronograma de capacitaciones / registro de asistencia a charlas y capacitaciones	sumatoria de las capacitaciones realizadas/ sumatoria de las capacitaciones	90%	95%	100%
DOCUMENTACION	Respuesta oportuna	(I 19)	mensual	requisiciones /remisiones	(# numero de requisiciones atendidas totalmente/ numero total de requisiciones)	85%	90%	95%
	cumplimiento de registros	(I 10)	mensual	requisiciones / ordenes de compra/remisiones	(# numero de dias de demora para la entrega de reportes/numero maximo de dias de demora)*100	90%	95%	100%

ANEXOS DE DISEÑO DEL SISTEMA TPM-LEAN

Anexo 6. Registro de proveedores

		REGISTRO DE PROVEEDORES		CODIGO:	
				VERSION: 1	
INFORMACIÓN DE LA EMPRESA					
NOMBRE O RAZON SOCIAL		TELEFONO		NIT: No.	
DIRECCION		CIUDAD		REGISTRO CAMARA E COMERCIO No. De	
PERSONA A CONTACTAR		FAX		APARTADO AEREO	
NOMBRE DEL REPRESENTANTE LEGAL		e-mail:		CELULAR	
				Página Web.	
INFORMACIÓN COMERCIAL					
CLIENTES MAS REPRESENTATIVOS					
1		2		3	
3		4			
PROVEEDORES MAS REPRESENTATIVOS					
1		2		3	
3		4			
PRODUCTOS QUE SUMINISTRA O DISTRIBUYE					
1		2		3	
3		4			
INFORMACIÓN DE GESTIÓN DE CALIDAD					
Tiene Implementado un modelo de calidad ISO		SI ☐ NO ☐ OTRO ☐			
Sello de Calidad del Producto		SI ☐ NO ☐ CUAL ☐			
CONDICIONES DE PAGO					
Contado ☐		Crédito a 30 días ☐		Crédito a 60 días ☐ Otro ☐	
Respuesta en días ante un pedido de urgencia:					
INFORMACIÓN BANCARIA					
NOMBRE DEL TITULAR DE LA CUENTA		NUMERO DE LA CUENTA		ENTIDAD BANCARIA	
No.		AHORRO ☐ CORRIENTE ☐		CIUDAD	
INFORMACIÓN TRIBUTARIA					
REGIMEN IVA: COMUN ☐ SIMPLIFICADO ☐		AUTORRETENEDOR: SI ☐ NO ☐		GRAN CONTRIBUYENTE: SI ☐ NO ☐	
PROVEEDOR EXTRANJERO: SI ☐ NO ☐		RES. No. DE		RES. No. DE	
NOMBRE DE QUIEN DILIGENCIA					
Firma: _____		Nombre: _____		Cargo: _____	
				Fecha: _____	

CERTIFICO LA VERACIDAD DE LA INFORMACIÓN SUMINISTRADA.

Anexo 7. Check list de elementos de protección personal

[illegible]**OBSERVACIONES:****OBSERVACIONES:**

Anexo 8. Inspección, estado y uso de EPP

		INSPECCION, ESTADO Y USO DE EPP																				VERSION CARGO FECHA: PAGINA:		TOTAL DE PAGINAS
	NOMBRE DEL TRABAJADOR	B	M	N	B	M	N	B	M	N	B	M	N	B	M	N	B	M	N	B	M	N	RESPIRADORE	OBSERVACIONES
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9																								
10																								
11																								
12																								
13																								
14																								
15																								
16																								
17																								
18																								
19																								
20																								
21																								
22																								
23																								
24																								
25																								
26																								
27																								
28																								
29																								
30																								
31																								
32																								
33																								
34																								
35																								

FECHA: _____
 B BUENO M MAL ESTADO N N/A

INSPESIONADO

Anexo 9. Evaluación de riesgos (Actividades de soldadura)

EVALUACION DE RIESGOS (ACTIVIDADES DE SOLDADURA) - METODO FINE																			
Fecha:																			
Area:																			
Puesto:																			
Maquina:																			
PELIGRO	Descripción de la consecuencia	Consecuencias					Exposición					Probabilidad					Grado de peligrosidad	Clasificación del riesgo	Prioridad
		a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e			
		100	50	25	15	5	10	6	3	2	1	10	6	3	2	1			
Generación de calor	Choque térmico																0.00	Bajo	Aceptable
Electricidad estática	Descargas eléctricas																0.00	Bajo	Aceptable
Calentamiento de materiales	Quemaduras																0.00	Bajo	Aceptable
Generación de ruido	Daños al sistema auditivo																0.00	Bajo	Aceptable
Generación de humos	Irritación y daño respiratorio																0.00	Bajo	Aceptable
Emisión de radiación	Daño ocular																0.00	Bajo	Aceptable
Salpicaduras y chispas	Daño ocular, quemaduras																0.00	Bajo	Aceptable
Manejo de herramientas	Dolores musculares en manos																0.00	Bajo	Aceptable

PELIGRO	Descripción de la consecuencia	Medidas de control	Procedimiento de trabajo	Información	Formación	Riesgo controlado	
						Si	No

Observaciones

Anexo 10. Bitácora de revisión de equipos y elementos de seguridad

BITACORA de revisión de equipos y elementos de seguridad												
Identificación del equipo										Fecha:		
No.	No. de serie	Lote	Marca	Modelo	¿Elemento con defectos?		Hermeticidad		Limpieza		Apto para operar	
					SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												

Identificación del equipo										Fecha:		
No.	No. de serie	Lote	Marca	Modelo	¿Elemento con defectos?		Hermeticidad		Limpieza		Apto para operar	
					SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												

Responsable del llenado: _____

Observaciones: _____

Anexo 11. Cálculo de emisiones

CÁLCULO DE EMISIONES									
PROCESOS DE SOLDADURA - ARCO ELÉCTRICO									
PASO 1. ELIJA EL TIPO DE SOLDADURA									
SOLDADURA POR ARCO METÁLICO (MAW)									
PASO 2. Ingrese la eficiencia de la reducción de emisión y las cantidades de los electrodos consumidos en el año (kg)									
0 (Si se cuenta con equipos de control de emisión este valor tenderá a 100%)									
CONSUMO (kg)	TIPO DE ELECTRODO	PM10	Cr	Cr (VI)	Cd	Mn	Ni	Pb	Observaciones
1	14Mn-40 (104)	61.6	13.9	ND	ND	232	17.1	ND	
1	E110B (58)	16.4	ND	ND	ND	13.8	ND	ND	
1	E308 (12)	10.8	2.99	2.39	0.01	2.52	0.43	ND	
1	E310 (15)	15.1	25.3	18.8	ND	22	1.96	0.24	
1	E316 (20)	10	5.22	3.32	ND	5.44	0.55	ND	
1	E410 (24)	13.2	ND	ND	ND	4.85	0.14	ND	
1	E6010 (128)	25.6	0.03	0.01	ND	9.91	0.04	ND	
1	E6011 (32)	38.4	0.05	0.01	0.01	9.98	0.05	ND	
1	E6012 (38)	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
1	E6013 (40)	19.7	0.04	ND	< 0.01	9.45	0.02	ND	
1	E7018 (44)	18.4	0.06	ND	< 0.01	10.3	0.02	ND	
1	E7024 (48)	9.2	0.01	ND	ND	6.29	ND	ND	
1	E7028 (52)	18	0.13	ND	ND	8.4612	ND	1.62	
1	E8018 (56)	17.1	0.17	ND	ND	0.3	0.51	ND	
1	E9018 (60)	17	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
1	E9018 (64)	16.9	2.12	ND	ND	7.83	0.13	ND	
1	EGC (48)	27.9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
1	EN-C (172)	28.2	ND	ND	ND	0.39	6.9	ND	
1	ENCMs (76)	11.7	4.2	ND	ND	0.43	2.47	ND	
1	EN-Gs-2 (80)	10.1	ND	ND	ND	2.12	4.23	ND	
TOTAL (kg/año)		0.4081	0.0510	0.02172	0.0002	0.140712	0.0026	0.00186	
GAS METAL-ARC WELDING (MAW)									
0 (Si se cuenta con equipos de control de emisión este valor tenderá a 100%)									
CONSUMO (kg)	TIPO DE ELECTRODO	PM10	Cr	Cr (VI)	Cd	Mn	Ni	Pb	Observaciones
1	E308 (12)	5.4	5.24	ND	< 0.01	3.46	1.84	ND	
1	E7018 (44)	9.2	0.01	ND	< 0.01	1.18	0.01	ND	
1	E61260 (10)	20.5	0.04	ND	ND	ND	ND	ND	
1	EP3154 (26)	24.1	0.1	ND	ND	0.34	ND	ND	
1	ER316 (20)	3.2	5.28	0.1	ND	2.45	2.26	ND	
1	ERNCMs (76)	3.9	3.53	ND	ND	2.7	12.5	ND	
1	ENCMs (80)	2	< 0.01	ND	ND	0.22	4.51	ND	
TOTAL (kg/año)		0.0643	0.0142	0.0001	0	0.01235	0.00112	0	
SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO SUMERGEDO (SAW)									
0 (Si se cuenta con equipos de control de emisión este valor tenderá a 100%)									
CONSUMO (kg)	TIPO DE ELECTRODO	PM10	Cr	Cr (VI)	Cd	Mn	Ni	Pb	Observaciones
1	E110 (60)	20.8	0.02	ND	ND	20.2	1.12	ND	
1	E110B (58)	57	9.69	ND	ND	7.06	1.02	ND	
1	E308LT (12)	9.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
1	E110LT (20)	8.5	9.7	1.4	ND	5.9	0.93	ND	
1	E7018 (44)	15.1	0.04	ND	ND	8.91	0.05	ND	
1	E711 (53)	12.2	0.02	ND	< 0.01	6.62	0.04	ND	
TOTAL (kg/año)		0.1337	0.01947	0.0014	0	0.04807	0.0016	0	

REFERENCIA:
Capítulo 12.19 Electric Arc Welding del AP-42

Anexo 12. Cálculo del consumo energético en términos de barriles equivalentes de petróleo

CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN TÉRMINOS DE BARRILES EQUIVALENTES DE PETRÓLEO			
Conversiones válidas a partir de Noviembre de 2016			
	COMBUSTIBLE	CONSUMO	
		CANTIDAD	UNIDAD
GASEOSOS	Gas natural (promedio asociado y no asociado)	1	m ³
	Gas natural asociado	1	m ³
	Gas natural no asociado	1	m ³
	Gas seco	1	m ³
	Gas seco de exportación	1	m ³
	Gas seco de importación	1	m ³
LIQUIDOS	Combustóleo	1	m ³
	Diésel	1	m ³
	Condensados	1	m ³
	Etano	1	m ³
	Gas licuado de petróleo	1	m ³
	Gasóleo	1	m ³
SOLIDOS	Gasolinas naturales	1	m ³
	Gasolinas y naftas	1	m ³
	Lubricantes	1	m ³
	Azufre	1	t
	Carbón siderúrgico nacional	1	t
	Coque de Carbón	1	t
BIOMAS	Coque de petróleo	1	t
	Materia prima para negro de humo	1	m ³
	Biodiesel 5	1	m ³
	Biogás	1	m ³
	Etanol anhidro 6	1	m ³
	ABS	1	t
RESIDUOS INDUSTRIALES	Acetona	1	t
	Asfaltos	1	m ³
	Lubricantes	1	m ³
	Neopreno	1	t
	Gas de Coque	1	m ³
	Pintura y barniz	1	t
BEP	Poliestireno	1	t
	TOTAL	113.523	BEP

FUENTE:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5462338&fecha=24/11/2016

1 bl = 0.15899 metros cúbicos

Anexo 13. Inspección preoperacional equipo de oxígeno

Anexo 14. Inspección preoperacional de compresores portátiles

NOTA IMPORTANTE: La inspección preoperacional debe realizarla **UNICAMENTE** el **OPERADOR** del Equipo. En caso de necesitar ayuda adicional debe informarle a su **SUPERVISOR** quien tomará la decisión más segura.

Anexo 15. Inspección preoperacional de cortadora

 INSPECCIÓN PREOPERACIONAL DE CORTADORA 																
EMPRESA: Pozos Profundos Javier Angulo		PLACA No.: CR-02		MODELO: LW1401		MARCA: Makita										
INSPECCIONADO POR: Ing. Jorge Humberto Pérez López		LOCALIZACIÓN: Patio operativo y campo de perforación														
PERIODO: DEL _____ AL _____ DE _____ DEL 202		EQUIPO No.: CR-02														
	ÍTEM	CANTIDAD	LUN.		MAR.		MIER.		JUEV.		VIER.		SAB.		DOM.	
			B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M
INDICAD.	ESTADO GENERAL															
	SIST. ALIMENTACIÓN DE TOMAS															
	CONEXIONES + -															
	SWITCH ENCENDIDO															
	CABLES															
	GUARDAS															
	DISCO															
OTROS	PUESTA A TIERRA															
	MESA CON GRADUACIÓN															
	OBSERVACIONES:															
Vo.Bo. Supervisor																

*** PUNTO CRÍTICO QUE INHABILITA EL EQUIPO PARA OPERAR**

Fuera de servicio: Si ☐ No ☐ Fecha de Corrección: _____

FIRMA OPERADOR: _____ NOMBRE/APELLIDOS _____

REVISÓ: _____

OBSERVACIONES: _____

NOTA IMPORTANTE: La inspección preoperacional debe realizarla **UNICAMENTE** el OPERADOR del Equipo.
En caso de necesitar ayuda adicional debe informarle a su SUPERVISOR quien tomará la decisión más segura.

Anexo 16. Inspección preoperacional de pulidora

 INSPECCIÓN PREOPERACIONAL DE PULIDORA 																
EMPRESA: Pozos Profundos Javier Angulo		PLACA No. PL-01		MODELO: GA4530		MARCA: Makita										
INSPECCIONADO POR: Ing. Jorge Humberto Pérez López		LOCALIZACIÓN: Patio operativo y campo de perforación														
PERIODO: DEL _____ AL _____ DE _____ DEL 202		EQUIPO No.: PL-01														
	ÍTEM	CANT	LUN.		MAR.		MIER.		JUEV.		VIER.		SAB.		DOM.	
			B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M
ESTADO MECANICO	* Motor															
	Cuerpo de pulidora															
	Mangos de agarre															
	Estado de los cables															
	Estado de los enchufes															
	Guarda															
	Area de ensamble del disco a la pulidora															
	Estado del disco															
Vo.Bo. Supervisor																

*** PUNTO CRÍTICO QUE INHABILITA EL EQUIPO PARA OPERAR**

Fuera de servicio: Si ☐ No ☐ Fecha de Corrección: _____

FIRMA OPERADOR: _____ NOMBRE/APELLIDOS _____

REVISÓ: _____

OBSERVACIONES: _____

NOTA IMPORTANTE: La inspección preoperacional debe realizarla **UNICAMENTE** el OPERADOR del Equipo.
En caso de necesitar ayuda adicional debe informarle a su SUPERVISOR quien tomará la decisión más segura.

Anexo 17. Inspección preoperacional de plantas eléctricas

EMPRESA:		PLACAS No.	DE-01	MODELO:	Trashtester 202											
MARCA:		EQUIPO No.	DE-01													
INSPECCIONADO POR: Ing. Jorge Humberto Pérez López																
LOCALIZACION: Patio operativo y campo de perforación																
PERIODO: DEL AL DE																
ESTADO	ITEM	CANTIDAD	LUN.		MAR.		MIE.		JUEV.		VIER.		SAB.		DOM.	
			B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M		
MECANICO	* Motor															
	Soportes de motor															
	Motor de arranque															
	Alternador															
	Sistema eléctrico															
	Generador															
	Soporte de generador															
	* Niveles de aceite															
	Conexiones eléctricas															
	* Puestas a tierra															
	* Indicadores (horómetro, Temperatura)/Amp.															
	Baterías															
	Exhausto															
	* Guardas															
	Tanque Combustible															
	* Mangueras Combustibles															
	* Nivel de Ruido Máx. 110 dBA															
	* Isconformación															
	Control Vibraciones (Palines)															
	* Caja de Tensionadores															
Vo.Bo. Supervisor																

* PUNTO CRITICO QUE INHABILITA EL EQUIPO PARA OPERAR

Fuera de servicio: ☐ Si ☐ No Fecha de Corrección: _____

FIRMA OPERADOR: _____

REVISÓ: _____

OBSERVACIONES: _____

NOTA IMPORTANTE: La inspección preoperacional debe realizarse ÚNICAMENTE el OPERADOR del Equipo.
En caso de necesitar ayuda adicional debe informarle a su SUPERVISOR quien tomará la decisión más segura.

Anexo 18. Inspección preoperacional de motosierra

EMPRESA:		Pozos Profundos Javier Angulo	EQUIPO No.	MS-01	MODELO:	Motosierra a gasolina 20"										
INSPECCIONADO POR: Ing. Jorge Humberto Pérez López																
LOCALIZACION: Patio operativo y campo de perforación																
PERIODO: DEL AL DE																
ESTADO	ITEM	CANTIDAD	LUN.		MAR.		MIE.		JUEV.		VIER.		SAB.		DOM.	
			B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M		
MECANICO	* CADENA															
	ESPADA															
	* CARETA															
	BUJIA															
	CABLE DE ENCENDIDO															
	TANQUE DE COMBUSTIBLE															
	CARBURADOR															
	FILTRO DE CARBURADOR															
	* SWITCH DE ENCENDIDO															
	ANILLAR DELANTERO															
	ANILLAR TRASERO															
	EXHOSTO															
	MOTOR															
	* ASA DELANTERA															
	* ASA TRASERA															
* GUARDA																
Vo.Bo. Supervisor																

* PUNTO CRITICO QUE INHABILITA EL EQUIPO PARA OPERAR

Fuera de servicio: ☐ Si ☐ No Fecha de Corrección: _____

FIRMA OPERADOR: _____

REVISÓ: _____

OBSERVACIONES: _____

NOTA IMPORTANTE: La inspección preoperacional debe realizarse ÚNICAMENTE el OPERADOR del Equipo.
En caso de necesitar ayuda adicional debe informarle a su SUPERVISOR quien tomará la decisión más segura.

Anexo 19. Inspección preoperacional taller máquinas y herramientas

		INSPECCIÓN PREOPERACIONAL TALLER MAQUINAS Y HERRAMIENTAS															
EMPRESA: Pozos Profundos Javier Angulo		PLACAS		TM-01				MODELO:		N/D		MARCA:		N/D			
INSPECCIONADO POR: Ing. Jorge Humberto Pérez López		EQUIPO No.: TM-01															
LOCALIZACIÓN: Patio operativo y campo de perforación																	
PERIODO: DEL AL DE DEL																	
TORNOS		CANT.	LUN.		MAR.		MIER.		JUEV.		VIER.		SAB.		DOM.		
ESTADO DE CORREAS			B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	
ESTADO DE TORRETA (PORTA HERRAMIENTA)																	
ESTADO DE CARRO SUPERIOR																	
SISTEMA ELECTRICO																	
SISTEMA DE FRENO																	
COPA																	
CAJA DE VELOCIDADES																	
ESTADO DE HERRAMIENTAS(BURILES, BROCAS, ESTADO DE PUNTO)																	
INDICADOR PRESIÓN ACEITE																	
PRESADORA																	
CARROS SUPERIORES																	
DIVISOR																	
AMORTAJADOR																	
CABEZOTE																	
PRENSA																	
ESTADO DE HERRAMIENTAS (PINZAS, BURILES, ESCARIADORES)																	
SISTEMA ELECTRICO																	
TALADRO																	
CORREAS																	
MANDRIL																	
MEZA																	
SISTEMA ELECTRICO																	
SIERRA MECANICA																	
ESTADO DE SEQUETA																	
SISTEMA ELECTRICO																	
SISTEMA LUBRICACIÓN																	
ESMERIL																	
SISTEMA ELECTRICO																	
ESTADO DE PIEDRAS																	
ESTADO DE GUARDAS																	
Vo.Bo. Supervisor																	
PUNTO CRITICO QUE INHABILITA EL EQUIPO PARA OPERAR																	
NOTA: ESTE EQUIPO SOLO PUEDE OPERARSE POR PERSONAL CALIFICADO																	
Fuera de servicio: SI ☐ No ☐																	
FIRMA OPERADOR: _____ Fecha de Corrección: _____ Resp. Corrección: _____																	
REVISÓ: _____ NOMBRE/APELLIDOS																	
OBSERVACIONES:																	

Anexo 20. Inspección preoperacional de herramientas menores

		INSPECCION PREOPERACIONAL DE HERRAMIENTAS MENORES															
EMPRESA: Pozos Profundos Javier Angulo																	
INSPECCIONADO POR: Ing. Jorge Humberto Pérez López																	
LOCALIZACIÓN: Patio operativo y campo de perforación																	
PERIODO: DEL AL DE DEL		FRENTE: Taller y área operativa															
HERRAMIENTA		REVISION	CANTIDAD	LUN.		MAR.		MIERC.		JUEVES		VIERNES		SABADO		DOMINGO	
				B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M
Biseladora		Pines, cadena, manivela, ajuste de boquilla, resorte, seguro, piñón, (zunchos carrillo)															
Destornilladores de pala		Estado general															
Destornilladores de estrías		Estado general															
Alicates		Mango, aislamiento															
Boquillas para calentar		Uniones															
Carretas para esmerilar		Acilado, Tafilado															
Cincoles		Estado general															
Cinta métrica		Estado general															
Cinturones de seguridad		Revisar línea de vida, gancho con lengüeta, cinturón															
Destornilladores		Mango															
Extensiones		Tomas, estado de cables															
Grapas de alinear 4"		Estado general															
Hornos de soldadura		Cable, Enchufe, Línea a tierra															
Limas		Mango, Estado general															
Listones		Estado general															
Llaves Expansivas		Llaves expansivas															
Machetes con funda		Revisar mango															
Martillos de uña		mango															
Palas		Revisar ajuste del mango, asillas															
Paladragas		Mangos, resortes, ejes															
Parasoles		Estado general															
Picas		Mango															
Porras		Mango															
Prensas		Estado general															
Reflectores		Instalación eléctrica, Línea a tierra															
Serruchos		Mango, revisar dientes															
Termos para agua		Estado general															
Tijeras		Estado general															
OTROS																	
SUPERVISOR																	
REVISÓ:																	
OBSERVACIONES:																	