



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**PLAN DE MONITOREO BASADO EN CONDICIÓN DE LAS MÁQUINAS
LAVADORAS WASHX DE TIPO INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE
PANTALONES DE LONA EN UNA LAVANDERÍA INDUSTRIAL**

Ing. Jorge Rodolfo Cantón Estrada

Asesorado por el Mtro. Ing. Wellington Emilio Vásquez Santos

Guatemala, mayo de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN DE MONITOREO BASADO EN CONDICIÓN DE LAS MÁQUINAS
LAVADORAS WASHX DE TIPO INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE
PANTALONES DE LONA EN UNA LAVANDERÍA INDUSTRIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. JORGE RODOLFO CANTÓN ESTRADA

ASESORADO POR MTRO. ING. WELLINGTON EMILIO VÁSQUEZ SANTOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, MAYO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
DIRECTORA	Mtra Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PLAN DE MONITOREO BASADO EN CONDICIÓN DE LAS MÁQUINAS
LAVADORAS WASHX DE TIPO INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE
PANTALONES DE LONA EN UNA LAVANDERÍA INDUSTRIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 6 de noviembre de 2023.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a horizontal line followed by a stylized, cursive-like flourish.

Ing. Jorge Rodolfo Cantón Estrada



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.172.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Directora de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **PLAN DE MONITOREO BASADO ENCONDICIÓN DE LAS MÁQUINAS LAVADORAS WASHX DE TIPO INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE PANTALONES DE LONA EN UNA LAVANDERÍA INDUSTRIAL**, presentado por: **Ing. Jorge Rodolfo Cantón Estrada**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.

Guatemala, mayo de 2024

JFGR/gaoc



Guatemala, mayo de 2024

LNG.EEP.OI.172.2024

En mi calidad de Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

"PLAN DE MONITOREO BASADO EN CONDICIÓN DE LAS MÁQUINAS LAVADORAS WASHX DE TIPO INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE PANTALONES DE LONA EN UNA LAVANDERÍA INDUSTRIAL"

presentado por **Ing. Jorge Rodolfo Cantón Estrada** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





Guatemala, 9 de octubre de 2023

M.A. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimada M.A. Inga. Cordova Estrada

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **PLAN DE MONITOREO BASADO EN CONDICIÓN DE LAS MÁQUINAS LAVADORAS WASHEX DE TIPO INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE PANTALONES DE LONA EN UNA LAVANDERÍA INDUSTRIAL** del estudiante **Jorge Rodolfo Cantón Estrada** quien se identifica con número de carné **8912360** del programa de Maestría En Ingeniería De Mantenimiento.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.




Msc. Inga. Rocio Carolina Medina Galindo
Coordinador
Maestría En Ingeniería De Mantenimiento
Escuela de Estudios de Postgrado



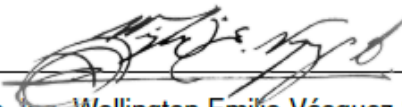
Guatemala, 9 de octubre de 2023

M.A. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrados
Presente

Estimada M.A. Inga. Cordova Estrada

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"PLAN DE MONITOREO BASADO EN CONDICIÓN DE LAS MÁQUINAS LAVADORAS WASHX DE TIPO INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE PANTALONES DE LONA EN UNA LAVANDERÍA INDUSTRIAL"** de el/la estudiante **Jorge Rodolfo Cantón Estrada** del programa de **Maestría En Ingeniería De Mantenimiento** identificado(a) con número de carné 8912360.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Mtro. Ing. Wellington Emilio Vásquez Santos

Colegiado No. 11627

Asesor de Tesis

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por haberme dado la oportunidad de alcanzar un logro adicional en mi historia académica.
Mis padres	Por haberme traído al mundo y mostrado con su ejemplo de vida a confiar en Dios, luchar por lo que se quiere, ser persistente y salir siempre adelante.
Mis hermanos	Christopher Cantón y Luz maría Unruh, por su apoyo y compañía durante mi vida.
Mis hijos	Stephen, Christina y Melody Cantón por ser mi mayor motivación de superación personal.
Familia y amigos	Por su apoyo incondicional, sus sugerencias y recomendaciones.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Caitac Garment Processing, Inc.	Por haberme brindado la información necesaria para realizar este diseño de investigación.
Grupo #6	Por habernos apoyado durante la maestría
Mi asesor	M. Sc. Ing. Wellington Vásquez, por haberme guiado durante el trabajo de graduación.
Mi jefe	Muneyuki Ishii por haberme brindado todo su apoyo incondicional a lo largo de la maestría.
Amigos en general	Por sus consejos de perseverancia y superación

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XIII
OBJETIVOS	XV
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Importancia de la lavandería industrial.....	5
2.2. Procesos de lavado	6
2.2.1. Prelavado.....	7
2.2.2. Lijado	8
2.2.2.1. Lijado proceso manual	8
2.2.2.2. Lijado de proceso automatizado.....	9
2.2.3. Lavado	11
2.2.4. Lavado con abrasión.....	11
2.2.5. Componente de abrasión	12
2.2.6. Lavado con químicos	14
2.2.7. Lavado de enjuague	15
2.2.8. Lavado enzimático	16
2.2.9. Lavado con blanqueado.....	16
2.2.10. Pintura (directos, sulfures, reactivos)	18
2.2.11. Suavizado	18

2.3.	Lavadoras de producción	18
2.3.1.	Lavadora Washex, Modelo DTF 5000	19
2.4.	Especificaciones técnicas	21
2.5.	Definición de mantenimiento	23
2.5.1.	Mantenimiento predictivo	24
2.5.2.	Monitoreo de condición.....	25
2.6.	Modo de falla.....	25
2.6.1.	Mecanismo de deterioro o falla.....	25
2.6.2.	Causas de falla.....	26
2.6.3.	Frecuencia de fallas en mantenimiento	27
3.	RESULTADOS	29
3.1.	Reconocimiento	32
3.2.	Diagnóstico	35
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	39
4.1	Consecuencias de la piedra poma	40
4.2	Distribución de maquinaria	42
4.3	Tendencias	43
5.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	49
5.1	Control y manejo de la piedra poma	49
5.2.	Lista de actividades para el control de piedra poma	51
5.3	Técnicas END para el monitoreo de condición	52
5.4.	Refuerzo de canasta en máquina lavadora.	52
5.5.	Monitoreo de estado de condición.....	54
	CONCLUSIONES	57
	RECOMENDACIONES	59

REFERENCIAS	61
APÉNDICES.....	65
ANEXOS	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1. Proceso de lija tipo manual	9
Figura 2. Máquina láser	10
Figura 3. Proceso de lija tipo automatizado láser	10
Figura 4. Pantalones de mezclilla estilo piedra	12
Figura 5. Piedra poma	13
Figura 6. Proceso básico de lavado con piedra poma	14
Figura 7. Apariencia de la tela después del enjuague	15
Figura 8. Apariencia de la tela después del blanqueado	17
Figura 9. Área de lavandería	19
Figura 10. Lavadora industrial Washex	19
Figura 11. Posición de descarga inclinada	20
Figura 12. Categorías de mantenimiento	23
Figura 13. Curva DIPF	24
Figura 14. Histograma de fallos por máquinas lavadoras	34
Figura 15. Histograma de tipos de fallas por lavadora	35
Figura 16. Ubicación de máquina 1	41
Figura 17. Proceso de abrasión en máquina 1	42
Figura 18. Distribución de máquinas lavadoras	43
Figura 19. Diagrama de Pareto fallos por lavadora	44
Figura 20. Diagrama de Pareto causales de falla por lavadora	45
Figura 21. Gráfica de circular de causales de falla por lavadora	45
Figura 22. Puerta de una máquina lavadora	46
Figura 23. Canasta de una máquina lavadora	48
Figura 24. Diagrama de flujo de monitoreo de condición	50

Figura 25. Refuerzo de metal protector de canasta de lavadora..... 54

TABLAS

Tabla 1. Variables e indicadores	XVII
Tabla 2. Especificaciones de la lavadora industrial Washex	21
Tabla 3. Reporte de tiempos de paro por fallo de máquina	30
Tabla 4. Frecuencia de fallas	33
Tabla 5. MTBF	36
Tabla 6. MTTR.....	37
Tabla 7. Matriz de criticidad	38
Tabla 8. Nivel de confiabilidad de máquinas lavadoras Washex	40
Tabla 9. Control y manejo de piedra poma/ listado de actividades.....	51
Tabla 10. Medidas y parámetros para diagnóstico de condición de monitoreo.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
%	Símbolo matemático, ciento por ciento
API RP 81	Modelo para el cálculo de riesgo financiero, en el mantenimiento del equipo estático.

GLOSARIO

DIPF	Curva basada en el aseguramiento de Confiabilidad, por sus siglas en inglés.
Índigo	Pasta colorante azul oscuro y violeta que se extrae de los tallos y hojas de este arbusto, se emplea para especificar el color de tela en un pantalón.
ISO	Organización Internacional de normalización, por sus siglas en inglés.
Lona	Tela fuerte de algodón o cáñamo, para pantalones de vaquero.
Mezclilla	Tela basta de algodón, por lo general de color azul, que se emplea principalmente en la confección de pantalones estilo vaquero.
Moda	Conjunto de prendas de vestir, adornos y complementos que se basan en esos gustos, usos y costumbres, y que se usan durante un período de tiempo determinado.
MTBF	Tiempo entre fallas, por sus siglas en inglés
MTTR	Tiempo de reparación, por sus siglas en inglés

PDM	Mantenimiento predictivo por sus siglas en inglés
RCM	Mantenimiento centrado en confiabilidad
SPSS	Paquete estadístico para las Ciencias Sociales
<i>Washex</i>	Marca de lavadora industrial, fábrica en Estados Unidos de Norte América.

RESUMEN

Las máquinas lavadoras *Washex*, de tipo industrial, se utilizan para el lavado de pantalones de mezclilla, debido a su alto nivel de confiabilidad de diseño. No obstante, la falta de un plan de mantenimiento adecuado; produce una actividad constante de reparación, provoca paros inesperados de máquinas y reduce la productividad de lavandería. En consecuencia, se plantea un plan de mantenimiento predictivo basado en un monitoreo de condición, que identifique el estado de cada máquina y solucione el problema antes de que la falla ocurra.

Se llevó a cabo un análisis de información de 13 máquinas, en dicha investigación fueron elaborados histogramas y diagramas de Pareto, que identificaron las máquinas que más números de fallos presentan, así como las principales causales de fallas. Se elaboró una matriz de criticidad de máquinas con el fin de establecer un plan de reparación, con el objetivo de incrementar el tiempo de disponibilidad de la maquinaria, así como el tiempo de vida útil de las lavadoras.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema es el constante fallo de las máquinas lavadoras *Washex*, de tipo industrial, las cuales son utilizadas el lavado de pantalones de lona, en una lavandería industrial. Debido a la ausencia de un mantenimiento adecuado que prevenga o reduzca las deficiencias, existe una constante actividad de reparación de estas. Esto representa que las máquinas estén paradas por mayor tiempo de lo necesario, al afectar con ello la productividad del departamento de lavandería y al atrasar el plan diario de cargas de ropa asignado por máquina. Como consecuencia, se ponen en riesgo las fechas de entrega de producción programadas. La problemática se desarrolla durante la jornada laboral y tiene este antecedente desde el inicio de la compañía en el año 1991.

Las posibles causas de la situación son: la inexistencia de un historial de fallas (mecánicas, hidráulicas, neumáticas, eléctricas y de operación), el desconocimiento de un plan predictivo de mantenimiento, como lo es el de monitoreo basado en condición del equipo, desconocimiento del estado real del equipo, el cual cuenta con más de 30 años de operación, el tiempo limitado de reparación durante la jornada de trabajo, por lo tanto, el desconocimiento de indicadores claves de mantenimiento como los son el MTTR, el MTBF, la disponibilidad, la fiabilidad y la criticidad RCM como gestión de mantenimiento.

Debido a esto las máquinas lavadoras tienen una frecuencia de fallas mayor a las esperadas, en consecuencia, no se tiene un adecuado inventario de suministros. Esto provoca que las reparaciones tomen más tiempo del deseado. Por otra parte, el impacto de una reparación afecta el cumplimiento de las fechas de entrega de producción, las que se programan con base en los temas de corte y cliente; finalmente, ello genera que el Departamento de Producción tenga que

realizar ajustes en su capacidad instalada, lo que resulta en la aplicación de doble turno o tiempo extraordinario.

La pregunta central de la investigación es ¿cuál es el plan de mantenimiento predictivo a diseñar para mejorar la variable costo/beneficio en la utilización de las máquinas lavadoras *Washex* de tipo industrial durante el proceso de pantalones de lona en una lavandería industrial?

Las preguntas auxiliares son:

- ¿Cuáles son los números de horas de fallo de cada una de las máquinas lavadoras *Washex*?
- ¿Cuáles son los causales y frecuencia de fallas en el funcionamiento de las máquinas lavadoras *Washex*?
- ¿Cuál es la prioridad de reparación de las máquinas lavadoras *Washex* en función de la cantidad de fallos y de los causales de fallas, para presentar un adecuado diseño de plan de monitoreo basado en condición?

OBJETIVOS

General

Diseñar un plan de mantenimiento basado en monitoreo de condición de las máquinas lavadoras *Washex* de tipo industrial en una lavandería industrial que procesa pantalones de lona, esto con la finalidad de mejorar la productividad del departamento de lavandería, reducir los costos de mantenimiento correctivo, reducir el número de paros imprevistos, identificar el estado de condición en que se encuentra cada máquina y corregir el problema antes de que la falla ocurra, incrementar el tiempo de disponibilidad así como el tiempo de vida de las máquinas lavadoras.

Específicos

1. Identificar el número de horas de fallo de cada una de las máquinas lavadoras *Washex*.
2. Definir los causales y la frecuencia de fallas en el funcionamiento de las máquinas lavadoras *Washex*.
3. Categorizar la prioridad de reparación de las máquinas lavadoras *Washex* en función de la cantidad de fallos y de los causales de fallas. para presentar un adecuado diseño de plan de monitoreo basado en condición.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La investigación se propuso bajo un tipo de estudio cuantitativo, en un diseño experimental, de alcance descriptivo. El diseño es preexperimental de una sola medición. El alcance es descriptivo porque busca identificar los factores críticos de la situación actual de mantenimiento y evaluar sus características, se conoce el fenómeno y se pudo obtener información de recopilar datos. Las variables e indicadores se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.

Variables e indicadores

No	Variables	Indicadores
.		
1	Tipos de fallas de las máquinas lavadoras	Mecánicas, hidráulicas, neumáticas, eléctricas, de operación, deficiencia de mantenimiento.
2	Parámetros de procesos	Bueno a malo
3	Estado de condición de la máquina lavadora	0 a 25

Nota. En la tabla 1 se muestra las variables e indicadores del proceso de lavandería industrial. Elaboración propia, realizado en Word.

Las fases de investigación se realizaron en la ruta:

- Revisión documental: inicialmente, se realizó la revisión de documentos escritos sobre la temática. Entre ellos se encuentran tesis, trabajos de

graduación, documentos académicos, artículos científicos, fichas técnicas, manuales de operación y mantenimiento, historial de datos.

- Trabajo de campo: se recopiló información del estado de las máquinas lavadoras. En campo se determinó el historial de los tipos de fallas de las máquinas, así como el historial del estado de condición de cada máquina por medio del uso de un formato de Excel y se recolectó la información. Por medio de inspección visual se verificó el estado de condición, al identificar metal corroído, válvulas viejas, sensores o cilindros en mal estado, entre otros. Al inspeccionar las fichas de compra de materiales se identificó la edad de la máquina y se proyectaron las horas de uso.
- Trabajo de gabinete: mediante la información recopilada, se tabuló y gráfico las tendencias identificadas. Se utilizó software para la actividad y continuamente se tuvo revisión documental de soporte. Se establecieron las frecuencias de fallas y el tiempo de reparación (MTBF y MTTR). En función de las frecuencias y tiempos de reparación se estableció la criticidad de fallas en las lavadoras. En conjunto a la cantidad de horas de uso que se evidencia en cada ambiente, se propuso la importancia de cada máquina lavadora.
- Redacción de documento: al utilizar la información recopilada y las tendencias mostradas, se procedió a la redacción final del documento de trabajo de graduación.
- Resultados esperados: se propuso disminuir la cantidad de reporte de fallas en las máquinas lavadoras. Al desarrollar el monitoreo de condición se identificaron las máquinas con fallas más recurrentes, y ello sirvió de base para inspección en el ambiente circundante.
- Selección de la muestra: la selección de la muestra fue no probabilística. Se utilizó el 100 % de la población.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación constituye el emprendimiento de un mantenimiento predictivo PdM basado en monitoreo de condición, en una lavandería industrial, para producción de pantalones de mezclilla, con el objetivo de aprovechar los recursos de herramientas y metodologías que permitan mantener en óptimas condiciones su maquinaria.

El problema que presenta es la constante falla de las máquinas lavadoras *Washex*, de tipo industrial. Debido a la ausencia de un mantenimiento adecuado que prevenga o reduzca las deficiencias, produce que exista una constante actividad de reparación de estas. Esto representa que las máquinas estén paradas por mayor tiempo de lo necesario, al afectar con ello la productividad del departamento de lavandería y al atrasar el plan diario de cargas de ropa asignado por máquina. Como consecuencia, se ponen en riesgo las fechas de entrega de producción programadas. La problemática se desarrolla durante la jornada laboral y tiene este antecedente desde el inicio de la compañía en el año 1991.

La importancia de llevar a cabo este trabajo de investigación es vital para la compañía, ya que la administración actual considera que este estudio permitirá reducir el número de fallas de las lavadoras, mejorará la productividad del departamento de lavandería, incrementará la capacidad instalada y el tiempo de vida de las máquinas existentes.

El aporte es muy significativo, ya que, a través de indicar los métodos, las técnicas y herramientas que deben ser utilizadas para el diagnóstico de las

máquinas en funcionamiento, se establecerá un programa adecuado de reparación antes que la falla ocurra.

Los resultados esperados mostrarán que los costos de un mantenimiento correctivo son más altos que los costos de mantenimiento basado por condición, así mismo el tiempo de paro de la máquina por mantenimiento correctivo es más largo que el tiempo de mantenimiento basado en condición.

El esquema de solución propone que la productividad y la capacidad instalada del departamento de lavandería se mejoren al nivel óptimo deseado, produce un impacto positivo y económico para la compañía, en virtud de esto la factibilidad de llevar a cabo esta investigación ahora es oportuna, ya que la compañía está dispuesta a invertir en el equipo necesario para la propuesta de solución, actualmente la compañía no cuenta con ningún equipo de diagnóstico para el monitoreo de condición, por desconocimiento propio del beneficio, pero durante el desarrollo de esta investigación la administración está a favor de realizar la inversión a cambio de mejorar su costo beneficio, se estima que el tiempo para completar esta investigación es de 6 a 8 meses.

En el capítulo I Marco Teórico, se fundamenta en la importancia de la lavandería industrial, procesos productivos de lavados de pantalones de mezclilla, lavadoras de producción *Washex*, definición de mantenimiento predictivo, mecanismo de falla, causales de falla y frecuencia de falla.

En el capítulo II, se hará el desarrollo de la investigación

En el capítulo III. Se hará la presentación de resultados

En el capítulo IV. Se hará la discusión de resultados

En el capítulo V. Se hará la propuesta de solución

1. ANTECEDENTES

Diseñó de la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la productividad del área de la lavandería de la empresa Jec Service S.A.C. Puente Piedra. Se realizó por medio de uso de técnicas de recolección de datos basados en la observación directa y al utilizar formatos de productividad y cronómetro. Se concluyó por medio de contraste de hipótesis general que el mantenimiento preventivo mejora la productividad en el área de la lavandería de la empresa Jec Services S.A.C. el aporte práctico de estudio determinó un aumento de 69.37 % en la productividad, un 21.10 % en la eficiencia y un 39.81 % en la eficacia y servirá como parámetro de comparación. (Mejía, 2021, p. IX)

Diseño la aplicación del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las lavadoras industriales en la empresa textil Pieers, S.A.C., El trabajo se realizó por medio de uso de técnicas de recolección de datos basados en la observación de las fallas, luego por medio de una inspección determinaron el plan de mantenimiento a mejorar, se concluyó que al implementar el mantenimiento preventivo, la disponibilidad de la maquinaria aumento significativamente, el aporte práctico de estudio

sugirió capacitar al personal de mantenimiento, con el fin de mejorar la productividad de la lavandería. (Núñez, 2019, p. VII)

Se diseñó la propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para el servicio de lavandería del Hospital Nacional de Chimaltenango. Primero se establecieron los conceptos y generalidades de la institución, funciones que realiza el servicio de lavandería, así como los tipos de mantenimiento y su importancia para un buen mantenimiento. Segundo se realizó un diagnóstico del servicio de lavandería, al descubrir los procesos y operaciones realizadas por el personal de servicio, el equipo con que se cuenta y un análisis de fallas más frecuentes de los equipos y los métodos de mantenimiento implementados.

Tercero se presentó el diseño del programa de mantenimiento preventivo para cada equipo, así como se especificó el procedimiento de ejecución en las rutinas de mantenimiento diseñadas, así como las herramientas y repuestos necesarios para realizarlas. Por último, se establecieron los lineamientos por seguir al momento de ejecución, al incluir costos. Se concluyó a través de un diagnóstico, los cuáles son las fallas más frecuentes para cada máquina por falta de un programa de mantenimiento. Luego se diseñó un programa de mantenimiento preventivo el cual define las rutinas programadas para los equipos, describe los pasos a seguir basados en manuales de fabricante de cada equipo y en las indicaciones técnicas del ingeniero de mantenimiento, el aporte práctico es establecer los requerimientos mínimos para tener un programa de mantenimiento eficaz. (Artz, 2018, p. XI)

Diseño un plan de análisis de modos/efectos de falla y plan de mantenimiento para una máquina industrial lavadoras de prendas (lavadora Tupesa), al aplicar conceptos del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), tuvo como objetivo disminuir las paradas aleatorias, los tiempos de inactividad y la compra bajo demanda de repuestos. El estudio se apoyó en una caracterización y modelación de los componentes que conforman la máquina, al utilizar la información técnica obtenida en los manuales, la investigación realizada a proveedores y responsables de la operación y el mantenimiento.

Adicionalmente se determinaron todas las funciones que desempeña la máquina y las distintas formas en que esta puede fallar, se evaluaron los riesgos potenciales. Se finalizó con la definición de las tareas y frecuencia de mantenimiento que eviten o disminuyan los impactos indeseados sobre la seguridad del personal, el medio ambiente y a la producción de la planta de Modinsa S.A. Su aporte práctico permitió establecer el plan de mantenimiento preventivo basado en las fallas posibles de las funciones del equipo y sus potenciales causas.

Mejora de la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad en el área de lavandería industrial de la empresa S&E servicios Generales S.A.C. Para lograrlos se realizó el uso de herramientas las cuales permitieron el cálculo de análisis aplicados, tal como el análisis de modos y efectos de falla, análisis de tiempos y los indicadores de gestión de mantenimiento, los resultados obtenidos fueron la reducción del reporte de fallas mediante el análisis de modos y efectos de fallas, también los indicadores de gestión de mantenimiento se incrementaron en un 95 %. El

aporte práctico de estudio es el beneficio obtenido y el aporte metodológico es la forma en la cual se obtuvo. (Sanchez, 2013, p. 4)

2. MARCO TEÓRICO

La industria de lavandería está enfocada al proceso de lavado de pantalones de mezclilla. Ofrece al cliente la oportunidad de realizar su producción en un solo lugar (paquete completo), es decir, que el cliente puede decidir desde la compra de la tela, los accesorios, el servicio de corte, el servicio de confección, hasta la realización del lavado de su producción. Esta industria ha evolucionado desde mucho años atrás, en un inicio el proceso de lijado era utilizado arena a presión sobre la pieza (sand blast), esto por motivos ambientales y de calidad han sido eliminados, el acabado del pantalón es básicamente realizado a través del proceso de lijado, donde existen procesos llamado: lija local, *whiskers*, *chevron*, *grinding*, todos estos procesos son considerados proceso en seco, porque no tienen contacto con el agua, posterior a esto, viene el proceso mojado, en donde lavandería realiza el proceso de lavado, utilizado para ello agua, químicos y otros materiales para logran el efecto estándar que el cliente desea.

2.1. Importancia de la lavandería industrial

Desde el inicio de los pantalones vaqueros en 1870 como ropa de trabajo para mineros y vaqueros, esta icónica prenda ha evolucionado para volverse un elemento popular de vestimenta casual a través del mundo actual. Estos vienen en diferentes cortes para encajar en diferentes gustos y modas, una parte importante de su vestimenta es la apariencia afligida, visiblemente vieja y usada, pero aún intacta y funcional. El proceso de lavado mejora las propiedades de resistencia de pantalones de mezclilla

teñidos en índigo y además por alterar los tipos de lavado se logran diferentes apariencias de moda. (Coats, 2023, parr.1)

A continuación, se explica como las piezas de mezclilla son procesadas desde su inicio, ya que existen pasos que deben de seguirse cuidadosamente. El pretratamiento o bien desencolado es uno de los procesos muy importantes al inicio de lavado, durante esta etapa, el tejido de la tela es tratada, de tal manera que la pieza o pantalón conserve el tamaño con que fue diseñado de origen, es decir, no más grande ni más pequeño, posterior a este proceso inicial vendrán otros importantes, descritos a continuación.

Los procesos posteriores al pretratamiento son más específicos y especiales, el cual producen un acabado diferente a la producción, previamente la lavandería industrial ha elaborado lavados de muestra, el cual toman muchas horas de prueba y post prueba, hasta que es aprobado por el cliente para su producción, al momento que esto es aprobado, se estable un estándar por utilizar como muestra a seguir para que coincida con la producción, para el cual se deben seguir ciertos pasos como si fuera una receta, comúnmente llamado fórmula.

2.2. Procesos de lavado

Posterior al proceso básico o inicial, los procesos de lavado producen ciertos efectos en la mezclilla, por lo que es importante saber cuáles son y como poder manejarlos adecuadamente, entre ellos se pueden mencionar: el cambio de estilo o de color, la mano con que se siente la suavidad de la tela, la consistencia de producción igual al estándar aprobado.

Para lograr conseguir buenos resultados de producción, es necesario seguir a detalle la fórmula o receta previamente mencionada, en ella establece la

calidad de agua, la temperatura con se aplica cada uno de los lavados, la cantidad precisa de los químicos por utilizar, todos ellos son necesarios.

Como ejemplo de uno de los procesos más comunes en lavandería, mencionaremos a continuación los pasos más utilizados, estos pueden ser repetidos en más de una vez y dependen de su formulación.

- Pretratamiento
- Lavado
- Pintura (directos, sulfures, reactivos)

2.2.1. Prelavado

En este proceso inicial de lavado, se debe conocer cuáles son los aspectos más importantes que permitirán obtener un resultado consistente y uniforme, estos son los siguientes:

- El removido de impurezas: normalmente, la producción recibida de costura viene muchas impurezas que pueden afectar la calidad, estas pueden ser manchas de aceite de una máquina, o de grasa durante la transportación, etiquetas de goma de quien realizó la calidad de costura, por lo tanto, se requiere ser removidas.
- Tratamiento de fibras: la tela proveniente de diferentes lugares trae ciertos químicos que deben ser removidos, intersticialmente permitirá que la fibra capture los siguientes procesos que realizaremos.

2.2.2. Lijado

En este proceso anterior o posterior al lavado, se utilizan dos tipos de aplicación de desgaste en la prenda, de acuerdo con el estilo establecido por el cliente, comúnmente llamado “Standard”:

- Lijado proceso manual
- Lijado proceso automatizado

2.2.2.1. Lijado proceso manual

En esta etapa de lijado manual, los operadores utilizan como herramienta de desgaste hacia la prenda una hoja de lija tipo anti agua con grado desde #400, #600, #800, #1,000 según el grado de abrasión deseado, para ello utilizan equipo llamado maniquís, el cual son dos tubos de acero forrados con hule y sellados en sus extremos de tal forma que permita el acceso de aire comprimido, estos son inflados a una presión determinada, previo al inflado, el operador introduce la pieza por trabajar, esta pieza es el pantalón de mezclilla como se puede observar en la Figura 1.

Figura 1.

Proceso de lija tipo manual



Nota. Se observan los robots/maniquís que tienen 2 formas de piernas forradas de material de hule. Elaboración propia.

2.2.2.2. Lijado de proceso automatizado

En esta etapa de proceso automatizado, el trabajo es realizado por una maquina láser, lo cual lo hace de una manera consistente, rápida y sin errores de reproceso, debido a esta tecnología innovadora del proceso de láser aplicada a piezas de mezclilla, la industria de lavandería logra mejorar su productividad en un porcentaje bastante significativo, de modo que permite, a esta lavandería, posicionarse en un punto altamente competitivo en este tipo de industria, cabe mencionar que al aplicar este tipo de proceso automatizado, se reducen una gran cantidad de agua, químicos utilizados durante el proceso de lavado, así como la reducción de energía, esto lo convierte en un proceso sostenible.

Figura 2.

Máquina láser



Nota. Departamento de laser, proceso automatizado. Elaboración propia.

Figura 3.

Proceso de lija tipo automatizado láser



Nota. Departamento laser, donde se muestra el resultado del proceso automatizado. Elaboración propia.

2.2.3. Lavado

Lavado regular de mezclilla, al momento de haber realizado el prelavado se procede a realizar los siguientes lavados de acuerdo con la fórmula obtenida en la realización de la muestra, estos son los más regulares, no obstante, en alguno de ellos el proceso se repite en más de una ocasión:

- Lavado con abrasión
- Lavado con químicos
- Lavado de enjuague
- Lavado Enzimático
- Lavado con blanqueador

2.2.4. Lavado con abrasión

Este lavado, comúnmente llamado *Stone Wash*, es uno de los básicos debido a que el efecto de abrasión logrado con el material de piedra poma o perlita, permite que el acabado final, obtenga una pieza con apariencia de desgaste, da una vista al pantalón de mezclilla de estar envejecido, y este no lo está.

Figura 4.

Pantalones de mezclilla estilo piedra



Nota. El gráfico muestra los resultados de los pantalones de mezclilla procesados con piedra poma. Obtenido del boletín en español de Coats (2023). *Lavado de Mezclilla.* [Fotografía]. Coats. ([https://coats.com/es/information-hub/Denim-Wash.](https://coats.com/es/information-hub/Denim-Wash)) derechos de autor 2023 por Coats.

2.2.5. Componente de abrasión

El material natural conocido como piedra poma, es extraído de las minas y contienen propiedades que permiten obtener la abrasión deseada para el proceso de lavado de mezclilla, estas piedras serán sustituidas en la actualidad por piedra sintética para reducir el lodo de piedra que se produce durante el proceso de drenaje, sin embargo, la calidad de estas últimas no logra alcanzar el nivel de la piedra poma.

Figura 5.

Piedra poma

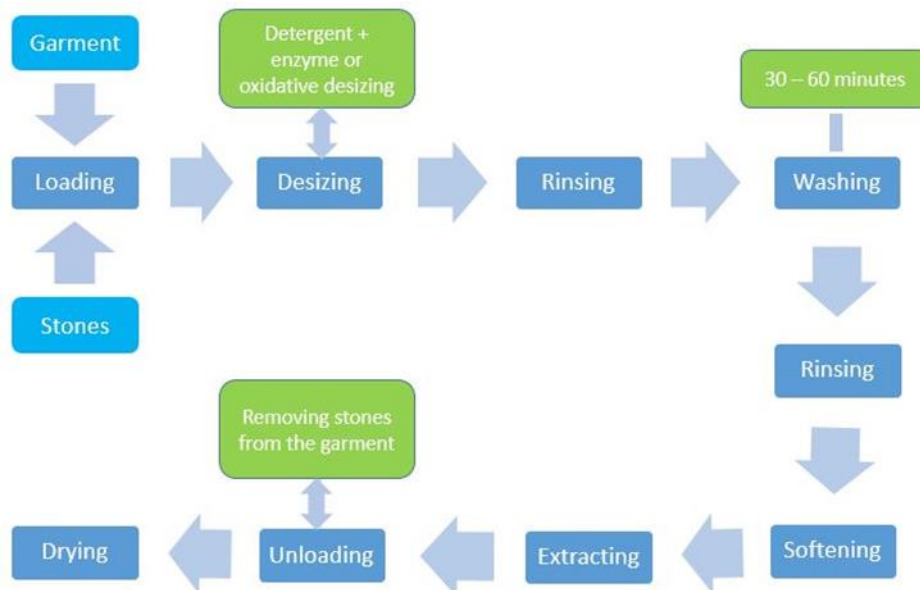


Nota. El gráfico muestra el material piedra poma, utilizado en lavandería. Obtenido del boletín en español de Coats (2023). *Lavado de Mezclilla.* [Fotografía]. Coats. ([https://coats.com/es/information-hub/Denim-Wash.](https://coats.com/es/information-hub/Denim-Wash)) derechos de autor 2023 por Coats.

A continuación, se muestra uno de los procesos básicos de lavado con piedra poma:

Figura 6.

Proceso básico de lavado con piedra poma



Nota. El gráfico muestra el proceso básico de lavado con piedra poma. Obtenido del boletín en español de Coats (2023). *Lavado de Mezclilla.* (<https://coats.com/es/information-hub/Denim-Wash>), consultado el 15 de julio de 2023. De dominio público.

La calidad obtenida al realizar este proceso de abrasión varía según varios factores en el proceso, en los cuales se puede mencionar, el tamaño de la piedra poma, la calidad de la piedra poma, usualmente se utiliza otro material para lograr mejor calidad, este es conocido como la perlita.

2.2.6. Lavado con químicos

En toda lavandería industrial para pantalones de lona, los químicos son necesarios para lograr el efecto y acabado necesario, sin estos no se puede lograr obtener la calidad y la aprobación del cliente, no obstante, cabe mencionar que existen ciertas restricciones en la concentración para ciertos químicos que

son prohibidos debido a su grado de contaminación o de efecto dañino para el humano, entre estos lavados podemos mencionar los lavados de *acid wash* / *Moon wash* lavados con cloro, lavados con proceso de rifle, en estos la piedra poma es previamente mojada con potasio permanganato y al momento de su lavado produce un efecto particular en la pieza, donde se obtienen partes más blancas que otras.

2.2.7. Lavado de enjuague

El proceso de lavado de enjuague es básico, pero tiene una principal función, el cual es mantener las fibras de la tela en condiciones necesarias para los procesos subsiguientes, este permite que el color de las piezas no se pierda, la mantiene oscura.

Figura 7.

Apariencia de la tela después del enjuague



Nota. El gráfico muestra la apariencia de la tela después del enjuague. Obtenido del boletín en español de Coats (2023). *Lavado de Mezclilla.* (<https://coats.com/es/information-hub/Denim-Wash>.), consultado el 15 de julio de 2023. De dominio público.

Cabe mencionar que, durante el proceso del lavado de enjuague, existe la desventaja de mala solidez al frote.

2.2.8. Lavado enzimático

Ya que la mezclilla está hecha de algodón, también consiste de celulosa. Las celulasas pueden ser utilizadas para dar a la mezclilla una apariencia de uso. Las enzimas han abierto nuevas posibilidades en acabado de mezclilla, incrementa la variedad de acabados disponible. Por ejemplo, ahora es posible desvanecer la mezclilla a un mayor grado sin correr el riesgo de dañar la prenda. Las celulasas son las enzimas comúnmente utilizadas en el lavado de enzima. Como su nombre lo sugiere, degrada celulosa. (Coats, 2023, par.32)

“La celulosa neutral es todavía más ampliamente utilizada en el lavado de mezclilla que en celulosa ácida. La razón es que la tendencia de tinte índigo de reposicionarse en la superficie de la fibra es mucho mayor en un medio ácido que en un medio neutral” (Coats, 2023, par.32).

2.2.9. Lavado con blanqueado

“En el blanqueado, un fuerte agente oxidante de blanqueo es añadido durante el lavado, con o sin piedras poma. El propósito del blanqueo es decolorar el tono de azul oscuro el cual destruye las moléculas de tinte índigo con químicos de blanqueo oxidantes” (Coats, 2023, parr. 43).

Figura 8.

Apariencia de la tela después del blanqueado



Nota. El gráfico muestra la apariencia de la tela después del blanqueado. Obtenido del boletín en español de Coats (2023). *Lavado de Mezclilla.* (<https://coats.com/es/information-hub/Denim-Wash>), consultado el 15 de julio de 2023. De dominio público.

“El hipoclorito de sodio es generalmente utilizado como un agente. A la fecha, el 'Blanqueador de Cloro' es el agente de blanqueo más efectivo para índigo debido a que todos los tonos pueden obtenerse de él” (Coats, 2023, parr. 44).

Métodos ecológicamente menos dañinos tales como lacases, permanganato potásico, sodio cáustico y el peróxido han sido probados. Sin embargo, no pueden ser comparados con blanqueador de cloro en lo que respecta al efecto y apariencia. El método de "Blanqueador Blanco" es una variación del blanqueador normal en el cual, el blanqueador de cloro es realizado dos o tres veces una después de la otra en diferentes baños de tratamiento. (Coats, 2023, parr. 47)

2.2.10. Pintura (directos, sulfures, reactivos)

Algunos procesos de lavandería utilizan pintura, es decir que se utilizan en su producción, reactivos químicos, sulfures y directos, esto es aplicado en producción blanca y requiere de la formulación correcta para su calidad, así como lo es la importancia de tener el agua suavizada, para ello es necesario contar con un proceso de agua suavizada, para evitar utilizar el agua dura, comúnmente llamada así y es la que proviene de la calle.

2.2.11. Suavizado

Debido a que la mezclilla es una tela áspera, es necesario suavizarla, un problema grande encontrado durante este proceso es el amarillamiento de la tela, el cual es el cambio de color o pérdida de en blanquecido. Todos los polímeros orgánicos como algodón son propensos a amarillarse, la tela de mezclilla con pintura en partícula es muy propensa a amarillarse.

2.3. Lavadoras de producción

En la lavandería donde se realiza este trabajo de investigación, las máquinas de producción son de tambor y la mayoría de ellas están protegidas internamente, con material para la protección de la canasta, debido a la abrasión que a veces es sometida con diferentes procesos de lavado, la capacidad de las máquinas washex es de 800 lbs. Todas estas máquinas son diseñadas para que con facilidad puedan descargar su producción, de tal manera que la máquina se inclina para su fácil acceso de descarga de producción.

2.3.1. Lavadora Washex, Modelo DTF 5000

A continuación, se presenta imagen de este modelo.

Figura 9.

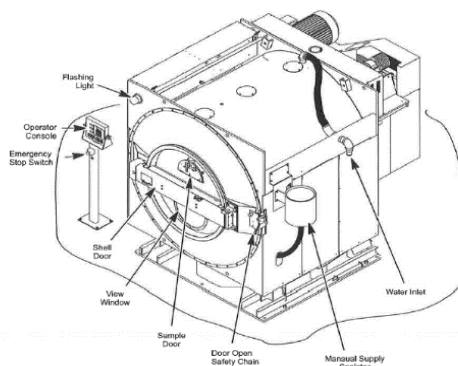
Área de lavandería



Nota. Lavandería Industrial, máquinas de producción Washex, con capacidad de 800 lbs. Elaboración propia.

Figura 10.

Lavadora industrial Washex

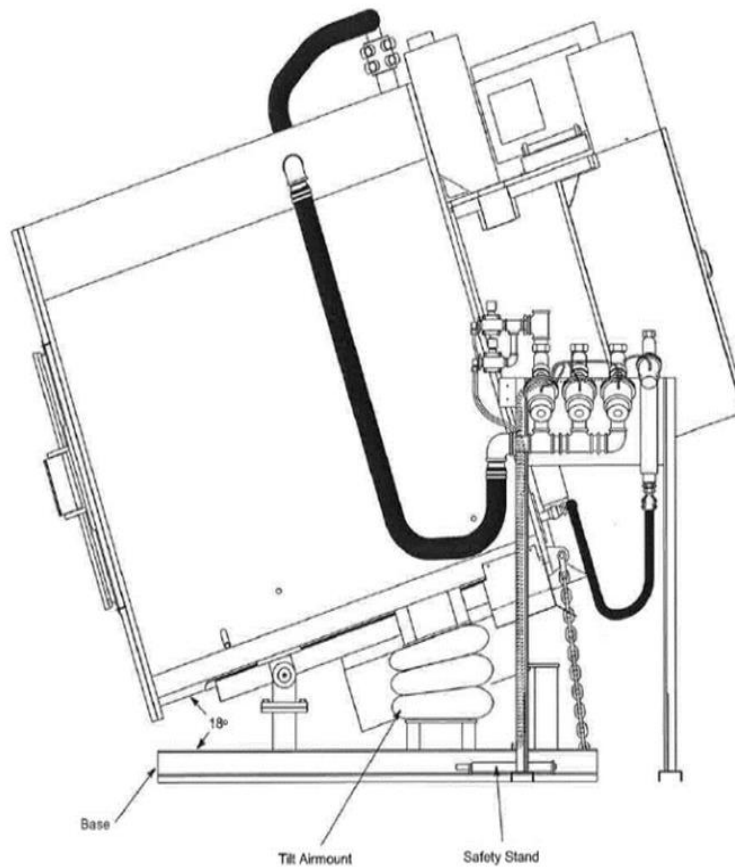


Nota. Imagen de la lavadora industrial Washex capacidad de 800 libras. Obtenido de *Manual del fabricante 225 D5*. (http://userfile.alephnetwork.com/files/b2gmarekt_vendor/Washer-Extractors%20Line.pdf) consultado el 15 de julio de 2023. De dominio público.

Al momento de terminar cada carga de lavado, la máquina lavadora es colocada en posición inclinada para el fácil acceso de descarga de su producción.

Figura 11.

Posición de descarga inclinada



Nota. Imagen de Washex, Modelo DTF 5000. Obtenido de *Manual del fabricante 225 D5.* (http://userfile.alephnetwork.com/files/b2gmarekt_vendor/Washer-Extractors%20Line.pdf) consultado el 15 de julio de 2023. De dominio público.

2.4. Especificaciones técnicas

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas.

Tabla 2.

Especificaciones de la lavadora industrial Washex

Description		DTF 5000
Shell	Shell sheet (304 SS)	10 ga = 3,4 mm
	Rear Head (carbon steel clad with stainless)	1 in = 25,4 mm
	Cladding Thickness (inner surface of rear head, 304 SS)	12 ga = 2,7 mm
	Front Head (Hot Rolled)	1 in = 25,4 mm
	Insulation Thickness (optional)	1/2 in = 12,7 mm
Cylinder	Diameter	79 in = 2 007 mm
	Depth	63 in = 1 600 mm
	Volume	178.7 cu ft = 5 000 L
	Door Opening	50 in = 1 270
	Door Height	35 1/2 in = 902 mm
	Cylinder sheet (304 SS)	10 ga = 3,4 mm (optional – inserts 10 ga = 3,4 mm)
	Rear Head (carbon steel clad with stainless)	1 in = 25,4 mm
	Cladding Thickness (inner surface of rear head, 304 SS)	1/4 in = 6,4 mm
	Cladding Thickness (outer surface of rear head, 304 SS)	12 ga = 2,7 mm
	Front Head (304 SS)	1/4 in = 6,4 mm
	Breakers, 304 SS	10 ga = 3,4 mm (optional – breaker caps 7 ga = 4,5 mm)
Cylinder Speed (nominal rpm)	Wash	27 rpm
	Balance	42 rpm
	Extract	134 rpm, G-Force = 20

Continuación de la Tabla 2.

Description		DTF 5000
Drive Motor		30.0 hp = 22,4 kw
Tilt	Unload	18°
Supplies	Manual Supply Canister	10 Gal. = 37,9 liters
	External Couplings for injecting liquid chemicals from supply system	14 couplings – 10 above water level, 4 below water level 1 in NPT
	Liquid supply signals	12
Water^{3,4} (hot, cold, and optional 3rd and 4th)	Inlet Valve, pneumatic	3 in NPT
	Valve Cv Rating	186 gal/min = 704,1 liters/min
	Recommended Pressure (at machine)	40 to 75 psi = 2,7 to 5,2 bar
	Overflow Level	45 in = 1 143 mm
	Maximum Capacity of Liquid	1043.1 Gal = 3 948,6 liters
Drain (waste and optional 2nd and 3rd)	Outlet (standard down drain)	8 in = 203 mm
	Draining Capacity (standard down drain)	350 gal/min = 1 325 liters/min
Steam³	Inlet Valve	1 ½ in NPT
	Recommended Pressure (at machine)	80 to 100 psi = 5,5 to 7,0 bar
	Heat 10 inch water level from 65° to 180° F	129,621 BTU = 136 724 kJ
Air^{3,5}	Inlet	½ in NPT
	Peak Demand	8 cfm = 13,6 m ³ /hr
	Pressure (at machine)	100 psi = 7 bar
Electrical^{6,7}	Available Voltages	208, 240, 480, or 575 Volt, 60 Hertz 220, 380, or 415 Volt, 50 Hertz
	Total Rating	30 hp = 22,4 kw
	Main Circuit Breaker	U.S. and Canada– Westinghouse–equivalent thermal magnetic Europe & other– Common trip bar thermal magnetic type

Nota. La tabla presenta las especificaciones de lavadora industrial Washex. Obtenido de Manual del fabricante 225 D5. (http://userfile.alephnetwork.com/files/b2qmarekt_vendor/Washer-Extractors%20Line.pdf) consultado el 15 de julio de 2023. De dominio público.

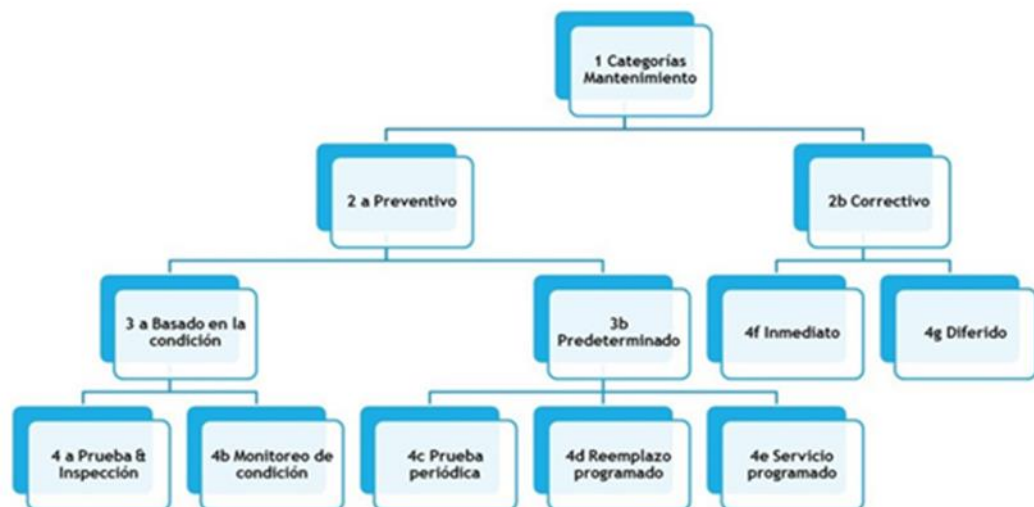
2.5. Definición de mantenimiento

“Existen dos categorías básicas de mantenimiento: a) Aquellas que se realizan para corregir un ítem después de la falla. b) “Aquellas que se realizan para prevenir que un ítem caiga en estado de falla” (Wikipedia, 2023, p.1).

“Parte de esto pueden ser simplemente los chequeos (inspecciones, pruebas) para verificar la condición y el rendimiento del equipo con el fin de decidir si se requiere un mantenimiento preventivo” (ISO 14224:2016, p. 50).

Figura 12.

Categorías de mantenimiento



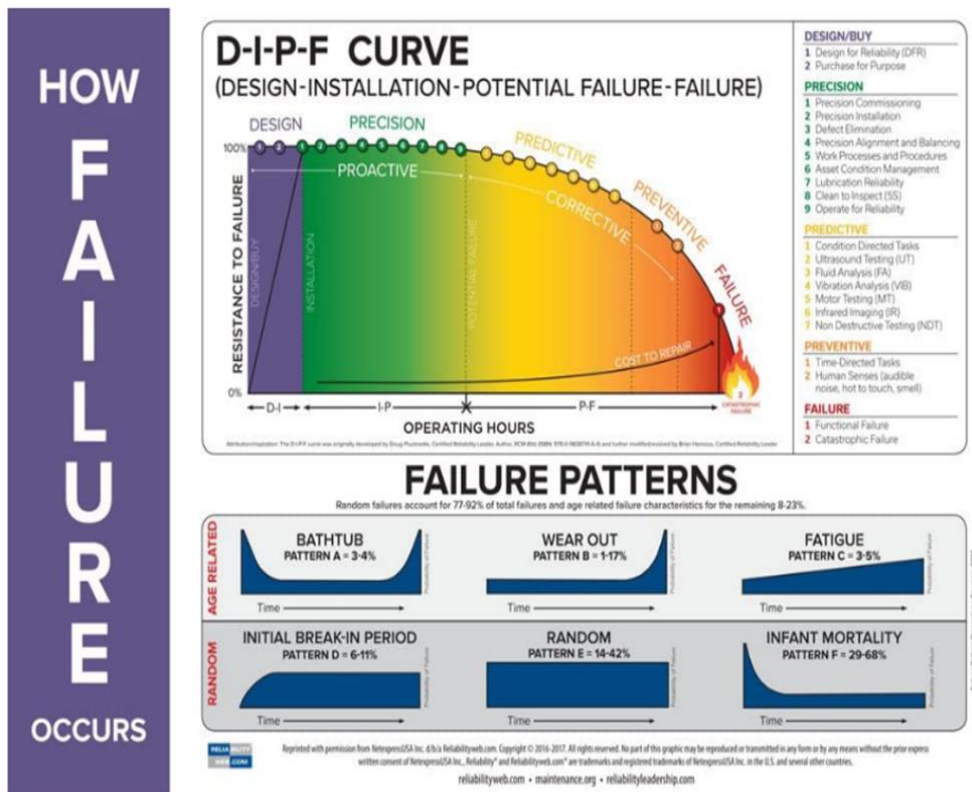
Nota. Categorización de mantenimiento. Obtenido de la Norma ISO 14224:2016 (2016). *BS en ISO 14224:2016*, consultado el 15 de octubre de 2022. De dominio público.

2.5.1. Mantenimiento predictivo

El concepto se basa en que las máquinas darán un tipo de aviso antes de que fallen y esta estrategia de mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones. Estrategia que está basado en la determinación del estado o condición del activo en operación a través de la combinación de múltiples tecnologías (Wikipedia, 2023).

Figura 13.

Curva D-IPF



Nota. Curva D-IPF por sus siglas en inglés, Design, Installation, Potential Failure, Failure. Obtenido de Reliabilityweb (2023) *Steps to precision maintenance reliability success.*

(<https://reliabilityweb.com/articles/entry/10-steps-to-precision-maintenance-reliability-success>), consultado el 15 de julio de 2023. De dominio público.

2.5.2. Monitoreo de condición

El monitoreo de condiciones es un proceso que se enfoca en la medición y el análisis de los parámetros de los activos en tiempo real. Este tipo de monitoreo establece que el mantenimiento debe realizarse solo si se detectan cambios significativos que muestren signos de disminución del rendimiento o de una falla inminente.

2.6. Modo de falla

Los modos de falla deben normalmente relacionarse al nivel de clase de equipos en la jerarquía. Los modos de falla pueden categorizarse en tres tipos: Función deseada no obtenida (ejemplo falla en el arranque), pérdida de una función específica, o función fuera de los límites operacionales aceptadas (ejemplo parado espuria, producción elevada), Indicación de falla observada, pero sin impacto inmediato y crítico en la función del equipo [este tipo de falla típicamente no es crítica y está relacionada a alguna degradación o condición de falla incipiente ejemplo desgaste inicia (ISO, 14224:2016)].

2.6.1. Mecanismo de deterioro o falla

El mecanismo de falla es el proceso físico, químico u otro, o la combinación de procesos, que dé lugar a la falla. Es un atributo del evento de falla que puede deducirse técnicamente, por ejemplo, la causa aparente observado de la falla. La (s) causa (s) raíz de la falla se

codifica(n) siempre que esta información esté disponible [este Estándar Internacional recomienda incluir un campo separado para esta información]. (ISO 14224:2016, p. 179)

“Los códigos de mecanismo de falla se están relacionados a las siguientes categorías generales de tipos de fallas: fallas mecánicas, fallas de material, fallas de instrumentación, fallas eléctricas, influencia externa, varios” (ISO 14224:2016, p. 181).

2.6.2. Causas de falla

El estándar ISO 14224 define causas de falla como las circunstancias durante el diseño, la fabricación o el uso, las cuales han conducido a una falla. El estándar enfatiza que, para la identificación de las causas de una falla, se necesita realizar una investigación exhaustiva por medio de un análisis Causa Raíz de Fallas para descubrir los factores físico, humanos y organizacionales fundamentales, que pudieran ocasionarla. (ISO 14224:2016, p. 181)

Según el estándar ISO 14224 las causas de fallas pueden ser englobadas en 5 categorías: relacionadas al diseño, relacionadas a la fabricación e Instalación, relacionadas a la operación o mantenimiento, relacionadas a la organización o gerencia, otras (Respuestas rápidas, 2022).

2.6.3. Frecuencia de fallas en mantenimiento

Para indicar la frecuencia con la que debe realizarse una tarea de mantenimiento, hay dos opciones: la primera es seguir periodicidades fijadas que indiquen los intervalos en los que se deben llevar a cabo las tareas. La segunda, es estableciéndose a partir de las horas de funcionamiento.

Existen tres maneras en que se pueden determinar la frecuencia del mantenimiento preventivo. Primero, utilizar métodos estadísticos. Segundo, implementar modelos matemáticos. Por último, basarse en la experiencia de los técnicos responsables de elaborar los planes de mantenimiento. (Mancuzo, 2020, p. 2)

3. RESULTADOS

Durante la revisión documental se obtuvieron los datos diarios de las horas de paro de todas las máquinas lavadoras de la lavandería. Esta información es administrada semanalmente por el Departamento de Producción. Al momento de analizar dicho reporte de máquinas, se observó inicialmente que su objetivo principal era mostrar la cantidad de horas que las máquinas lavadoras estuvieron paradas. En ningún momento el reporte de producción mostraba cuales habían sido las razones de los fallos que presentaban cada máquina lavadora, su enfoque era puramente de productividad, el cual era mostrar tiempo de la máquina fuera de servicio, de esta manera el departamento de producción justificaba su trabajo obtenido durante el tiempo disponible de su jornada diaria de trabajo, por lo cual se sugirió indicar cuál era el modo de falla por cada evento de paro. A continuación, se muestra la información obtenida.

Tabla 3.

Reporte de tiempos de paro por fallo de máquina

Enero 2023		Lavadora		Lavadora		Lavadora		Lavadora								
Fecha	Día	#	HIP	HFP	TP	RF	#	HIP	HFP	TP	RF	#	HIP	HFP	TP	RF
Jan 2	LUN															
Jan 3	MAR															
Jan 4	MIE															
Jan 5	JUE	1	9:54 AM	12:3 PM	2:4	4 SEN										
Jan 6	VIE															
Jan 7	SAB															
Jan 8	DO															
Jan 9	M															
Jan 9	LUN	11	1:49 PM	3:28 PM	1:3	9 ELE		2:5	3:2							
Jan 10	MAR	6	7:00 AM	7:22 AM	0:2	2 ELE	5	0	0:2	7:00 AM	7:35 AM	0:3 MA	10:32 AM	5 PM	2:4	5 PRO
Jan 11	MIE	1	2:19 PM	2:28 PM	0:0	9 PRO										
Jan 12	JUE	12	9:00 AM	3:30 PM	6:3	0 CAN		8:0	9:2							
Jan 13	VIE	12	7:00 AM	11:1 AM	4:1	0 CAN	13	0	5	1:2						
Jan 14	SAB															
Jan 15	DO															
Jan 15	M															

3.1. Reconocimiento

Se realizaron varias visitas al departamento de lavandería en el periodo de junio 2022 a julio 2023. Se tomaron fotografías del área, de la distribución de maquinaria, de las máquinas utilizadas para desarrollo (85 lb de capacidad) y de las máquinas utilizadas para producción (800 lb de capacidad), así como también se tomaron fotografías de los materiales utilizados para el proceso de lavado (piedra poma, químicos entre ellos suavizantes, silicones, detergentes, cloro, enzimas, peróxido, caustica soda, entre otros) se observó que cada proceso de lavado sigue un listado de instrucciones específicas, tiempo, cantidad de materiales, temperatura del agua, entre otros con el propósito de obtener el mismo resultado, como patrón estándar, este procedimiento es conocido como fórmula o receta.

Como no existía ningún parámetro inicial para identificar cuáles eran los causales de fallas por cada máquina lavadora, se propuso modificar el formato original, la razón de la falla para cada paro de máquina registrado, el cual es descrito por el mecánico del departamento de mantenimiento asignado al momento de la falla. El departamento de mantenimiento también elabora su propio informe de máquinas reparadas, pero no identifica el número de horas que esta estuvo fuera de servicio, a partir de este cambio en el reporte semanal de producción se obtuvo la información del resultado de fallas por máquina, el cual ahora permite ser tabulado y del cual se obtiene un resumen semanal de condición de las máquinas lavadoras, a continuación, se muestra la frecuencia de fallas en el periodo de junio 2022 a julio 2023.

Tabla 4.

Frecuencia de fallas

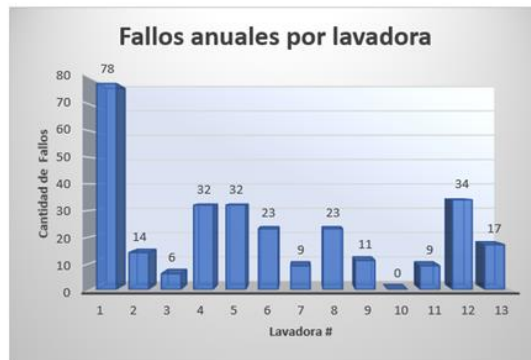
Lavadora	Puerta	Canasta	Programa	Eléctrico	Sensor	Nivel de agua	Manguera	Drenaje	Anclaje	Metal fundido	Invertidor	Válvula
#1	36	7	12	7	10	1	2		1		1	1
#12	9	14	5		2	2				1		1
#4	10	11	2	2	1	2	3		1			
#5	17	2	3		2	6		2				
#6		16	1	1		2		2				
#8	5	4	1	8			1	1	3			
#13	11	1	2	1	1							
#2	5	1	3		1	2	1		1			
#9	2	7					1			1		
#7	3	2			1		1				2	
#11	2		2	2				2		1		
#3	3		1		1			1				
#10												
TOT	103	65	32	21	19	15	9	8	6	3	3	2

Nota. Lavandería industrial, máquinas Washex DTF 5000. Información obtenida durante 1 año (junio 2022 para julio 2023). Elaboración propia, realizado con Word.

A partir del historial de frecuencia de fallas podemos obtener el histograma de fallos por máquina lavadora para identificar cuáles son las máquinas que representan mayor problema durante el periodo observado.

Figura 14.

Histograma de fallos por máquinas lavadoras



Nota. Lavandería industrial, datos obtenidos durante 1 año desde junio 2022 para julio 2023. Elaboración propia, realizado con Excel.

A partir del historial de frecuencia de fallas se puede obtener el histograma de tipo de fallas por máquina lavadora para identificar cuáles son los causales de fallas que representan mayor problema durante el periodo observado.

Figura 15.

Histograma de tipos de fallas por lavadora



Nota. Lavandería industrial, datos obtenidos durante 1 año desde junio 2022 para julio 2023. Elaboración propia, realizado con Excel.

3.2. Diagnóstico

Basado en la toma de datos de frecuencia de fallas, se identificó que las máquinas que más sufren de paros para reparación son la #1, #12, #4, #5, #6 y #8 en su respectivo orden de fallos. Así mismo se identifican que los problemas más frecuentes que presentan estas máquinas son las puertas, la canasta, el programa y el problema eléctrico.

Como una medida de la gestión de estrategia de mantenimiento, se calcularon los indicadores de gestión de mantenimiento.

Tabla 5.

MTBF

Lavadora #	Jul-22	Aug-22	Sep-22	Oct-22	Nov-22	Dec-22	Jan-23	Feb-23	Mar-23	Apr-23	May-23	Jun-23
1	160.10	176.82	179.77	168.11	151.38	155.01	162.79	156.21	173.01	152.31	179.40	171.78
2	159.10	179.34	180.26	168.43	166.60	166.22	164.43	155.85	179.22	154.10	174.31	172.26
3	160.60	180.09	180.26	168.43	154.43	166.35	163.85	156.60	177.01	156.60	180.09	171.76
4	155.02	179.16	176.76	168.31	160.19	166.27	163.84	156.02	179.12	151.41	179.51	171.49
5	160.40	179.34	179.84	168.10	155.77	166.27	164.05	153.27	179.61	156.60	177.82	172.26
6	156.27	180.09	180.26	163.43	149.52	155.28	156.67	148.68	180.09	155.43	179.19	171.14
7	158.37	178.80	180.26	168.43	155.57	166.60	160.21	152.18	180.09	156.60	180.09	172.26
8	153.27	170.42	179.64	168.43	154.48	166.60	163.98	156.60	177.67	148.96	179.22	168.35
9	159.65	175.34	180.26	167.93	166.60	166.60	164.43	151.29	180.09	151.77	175.92	171.51
10	160.60	180.09	180.26	168.43	166.60	166.60	164.43	156.60	180.09	156.60	180.09	172.26
11	155.28	180.09	177.68	168.43	166.60	155.35	163.11	156.60	178.09	148.10	180.09	171.68
12	154.96	177.21	178.89	168.26	166.60	166.13	160.71	154.70	179.78	156.27	176.87	164.72
13	160.60	179.09	180.26	168.93	156.47	166.60	163.01	155.62	176.90	156.43	179.67	168.80
Promedio	158.02	176.88	178.93	167.61	162.60	155.59	160.63	154.06	176.37	152.72	178.12	168.70
Disponibilidad ad de horas	160.6	180.09	180.26	168.43	156.6	156.6	164.43	156.6	180.09	156.6	180.09	172.26

Nota. Lavandería industrial, KPI (*Key Performance Indicator*) datos obtenidos durante 1 año desde junio 2022 para julio 2023. Horas promedio de operación sin fallo alguno, mide confiabilidad, entre más alto mejor. Elaboración propia, realizado con Word.

Así mismo, de la información obtenida y como medida de la gestión de estrategia de mantenimiento, se calcularon los indicadores de mantenimiento.

Tabla 6.

MTTR

Lavadora #	Jul-22	Aug-22	Sep-22	Oct-22	Nov-22	Dec-22	Jan-23	Feb-23	Mar-23	Apr-23	May-23	Jun-23
1	0.50	3.27	0.49	0.32	5.22	1.59	1.64	0.39	7.08	4.29	0.69	0.48
2	1.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.75	0.87	2.50	5.78	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	2.17	0.25	0.58	0.00	6.17	0.00	0.00	0.50
4	5.58	0.83	3.50	0.13	6.41	0.33	0.59	0.58	0.97	5.19	0.58	0.77
5	0.20	0.75	0.42	0.33	0.83	0.33	0.38	3.33	0.48	0.00	2.27	0.00
6	4.33	0.00	0.00	5.00	7.08	1.32	7.76	7.92	0.00	1.17	0.90	1.13
7	2.23	1.29	0.00	0.00	1.03	0.00	4.22	4.42	0.00	0.00	0.00	0.00
8	7.33	9.67	0.63	0.00	2.13	0.00	0.45	0.00	2.42	7.64	0.87	3.91
9	0.95	4.75	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	5.31	0.00	4.83	4.17	0.75
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	5.32	0.00	2.58	0.00	0.00	1.25	1.33	0.00	2.00	8.50	0.00	0.58
12	5.64	2.88	1.38	0.17	0.00	0.47	3.72	1.90	0.31	0.33	3.22	7.54
13	0.00	1.00	0.00	1.50	0.13	0.00	1.42	0.98	3.19	0.17	0.42	3.46
Promedio	4.44	3.21	1.33	0.82	4.00	1.01	3.80	2.54	3.73	3.88	1.97	3.56

Nota. Lavandería industrial, KPI (*Key Performance Indicator*) datos obtenidos durante 1 año desde junio 2022 para julio 2023. Horas promedio de reparación, entre menos mejor. Elaboración propia, realizado con Word.

Basado en el modo de falla de las máquinas lavadoras *Washex*, para esta lavandería industrial, se elaboró la matriz de criticidad en función a su grado de importancia para la operación del proceso de lavado, consecuencia de la falla, tiempo de recuperación de la máquina, disponibilidad de los repuestos y costo de reparación, de tal manera que, identificados los componentes más críticos a resolver, el Departamento de Mantenimiento tome la decisión de prioridad de reparación.

Tabla 7.

Matriz de criticidad

Modo de falla	Importancia en el proceso de lavado			Grado de mantenibilidad			Existencia de material de reemplazo		Criticidad de mantenimiento	Suma de criticidad
	Inmediato	< 8 hrs	> 8 hrs.	Alto	Medio	Bajo	Si	No		
	150	75	0	100	50	0	0	50		
Nivel de agua		1			1			1	MEDIO	175
Sensor		1				1	1		BAJO	75
Programa		1			1			1	MEDIO	175
Metal con filo	1			1				1	ALTO	300
Invertidor		1			1		1		MEDIO	125
Válvula		1			1		1		MEDIO	125
Puerta	1			1				1	ALTO	300
Canasta			1	1				1	MEDIO	150
Manguera			1			1	1		BAJO	0
Eléctrico		1			1		1		MEDIO	125
Drenaje			1			1		1	BAJO	50
Anclaje			1			1	1		BAJO	0
Fuga de aceite			1			1	1		BAJO	0

Nota. Lavandería industrial, datos obtenidos durante 1 año desde junio 2022 para julio 2023. Criterios de evaluación para máquina *Washex* DTF5000. Elaboración propia, realizado con Word.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Durante la revisión de resultados se pudo observar que en la industria de lavandería industrial, la maquinaria de lavadoras *Washex* es una de las mejores marcas estadounidense para este tipo de lavado de pantalones de lona, ya que su diseño de fábrica permite continuar con su función de operación, luego de ser reparada, muchos de sus componentes originales ya no están disponibles en el mercado, sin embargo, pueden ser reemplazados por otros que cuentan con una calidad similar a la del fabricante. Ver la siguiente tabla.

Tabla 8.

Nivel de confiabilidad de máquinas lavadoras Washex

#	Lava	Jul-22	Aug-22	Sep-22	Oct-22	Nov-22	Dec-22	Jan-23	Feb-23	Mar-23	Apr-23	May-23	Jun-23
1		99.38%	96.44%	99.46%	99.62%	93.55%	97.99%	98.02%	99.50%	92.43%	94.67%	99.24%	99.44%
2		98.15%	99.17%	100.00%	100.00%	100.00%	99.51%	100.00%	99.05%	99.04%	96.86%	93.78%	100.00%
3		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	97.27%	99.68%	99.29%	100.00%	95.03%	100.00%	100.00%	99.42%
4		93.28%	98.97%	96.19%	99.85%	92.14%	99.58%	99.28%	99.26%	98.93%	93.59%	99.35%	99.11%
5		99.75%	99.17%	99.54%	99.60%	98.94%	99.58%	99.54%	95.83%	99.46%	100.00%	97.51%	100.00%
6		94.75%	100.00%	100.00%	94.23%	91.35%	98.33%	90.99%	90.38%	100.00%	98.52%	99.01%	98.70%
7		97.26%	98.57%	100.00%	100.00%	98.69%	100.00%	94.99%	94.51%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
8		91.27%	89.81%	99.31%	100.00%	97.32%	100.00%	99.45%	100.00%	97.35%	90.70%	99.04%	95.56%
9		98.82%	94.86%	100.00%	99.41%	100.00%	100.00%	100.00%	93.45%	100.00%	94.01%	95.48%	99.13%
10		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
11		93.59%	100.00%	97.17%	100.00%	100.00%	98.42%	98.40%	100.00%	97.80%	89.70%	100.00%	99.33%
12		93.22%	96.85%	98.49%	99.80%	100.00%	99.41%	95.57%	97.61%	99.66%	99.58%	96.48%	91.61%
13		100.00%	98.90%	100.00%	98.23%	99.83%	100.00%	98.29%	98.75%	96.52%	99.79%	99.54%	96.06%
	Promedio	95.74%	96.50%	98.53%	99.03%	95.02%	98.72%	95.48%	96.81%	95.95%	95.16%	97.83%	95.95%

Nota. KPI (Key Performance Indicator) Lavandería Industrial con Maquinas Washex, Modelo DTF 5000 durante el periodo evaluado junio 2022 a julio 2023. Elaboración propia, realizado con Word.

4.1 Consecuencias de la piedra poma

Por otro lado, se puede concluir que las máquinas identificadas con mayor frecuencia de problema, son aquellas que han sido utilizadas para el proceso requerido de abrasión, la cual requiere la aplicación de piedra poma, este proceso

genera el efecto deseado por la producción requerida, pero al mismo tiempo causa el daño de desgaste del metal de acero inoxidable de clasificación 316 dentro de la canasta de la lavadora, asimismo se observó en la distribución de maquinaria que la máquina lavadora que presenta mayor frecuencia de fallas es la maquina lavadora *Washex #1*, el cual está ubicada junto al almacén de la piedra poma, el cual representa un problema, ya que esta piedra poma es manejada en mallas abiertas, de aproximadamente 10 libras de peso para su fácil manejo del operador y dentro de su estado natural produce demasiado polvo, especialmente al dejarlo caer al suelo, este polvo es muy perjudicial para el operador y las máquinas lavadoras, especialmente en sus componentes electrónicos, sistemas mecánicos y neumáticos.

Figura 16.

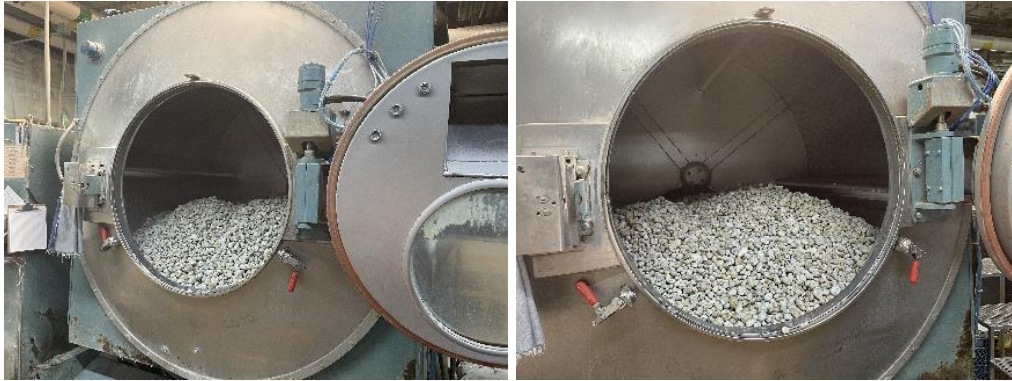
Ubicación de máquina 1



Nota. Lavandería industrial, máquina #1 *Washex DTF 5000*. Muestra su ubicación junto al material piedra poma, esta máquina es la que mayor frecuencia de fallas presenta. Elaboración propia.

Figura 17.

Proceso de abrasión en máquina 1



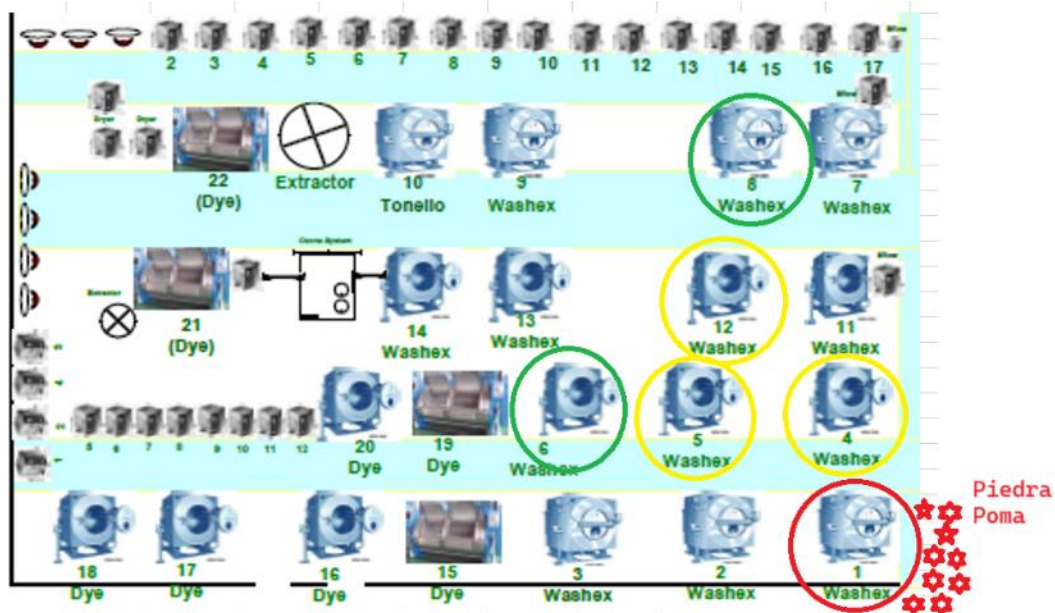
Nota. Lavandería industrial, máquina #1 Washex DTF 5000. Muestra el proceso de abrasión en máquina #1, esta máquina es la que mayor frecuencia de fallas presenta. Elaboración propia.

4.2 Distribución de maquinaria

Basado en la toma de datos de frecuencia de fallas, se identificó que la máquina #10 es utilizada durante el año solamente para un proceso específico llamado *Moon*, las máquinas que más sufren paros para reparación son la #1, #12, #4, #5, #6 y #8, en su respectivo orden de fallos, dichas máquinas son las utilizadas con el proceso de piedra poma para su propósito de abrasión y de acuerdo a su distribución de maquinaria, la máquina Washex #1 es la que sufre el mayor problema ocasionado por el polvo de la piedra poma, las otras máquinas presentan causales de fallo distinto debido a diferentes razones, entre los cuales podemos mencionar desgaste por abrasión, ambiente húmedo/químico, entre otros. Así mismo se identifican que los problemas más frecuentes que presentan estas máquinas son las puertas, la canasta, el programa y el problema eléctrico.

Figura 18.

Distribución de máquinas lavadoras



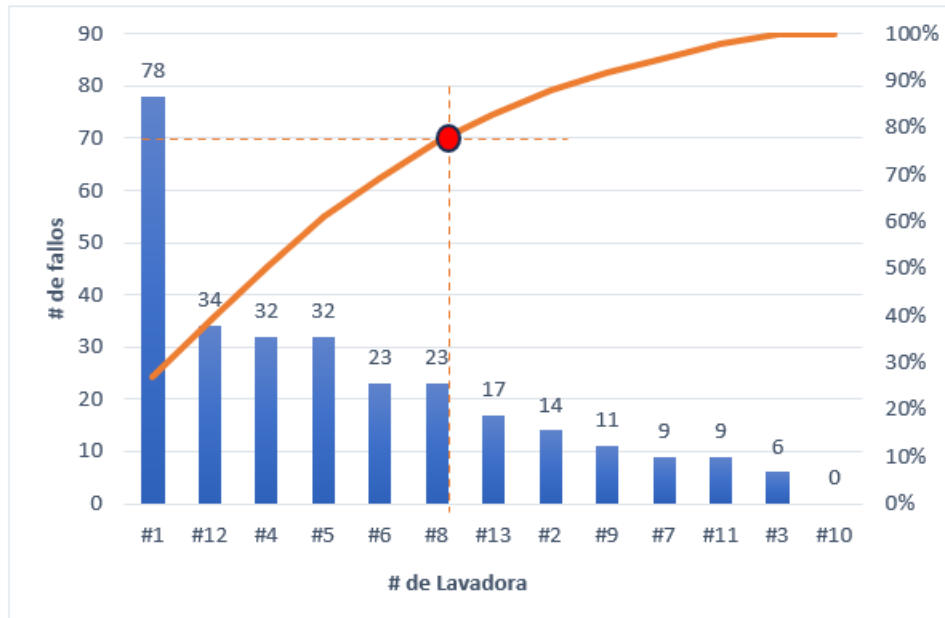
Nota. Lavandería industrial, distribución de maquinaria se muestra en círculo las que representan mayor número de fallas periodo 2022-2023. Elaboración propia, realizado con Visio.

4.3 Tendencias

Después de haber elaborado la tabla de frecuencia de fallas se obtiene el diagnóstico de un año 2022-2023, donde podemos cuantificar los números de fallos y el tipo de fallas más frecuente por cada máquina lavadora, a partir de esta información se elaboran los gráficos de Pareto de tal manera que permiten identificar cuáles son las máquinas lavadoras que representan el 20 % de los causales de fallas y que al ser reparadas permiten obtener el 80 % de resultados a los problemas de las máquinas de lavandería.

Figura 19.

Diagrama de Pareto fallos por lavadora

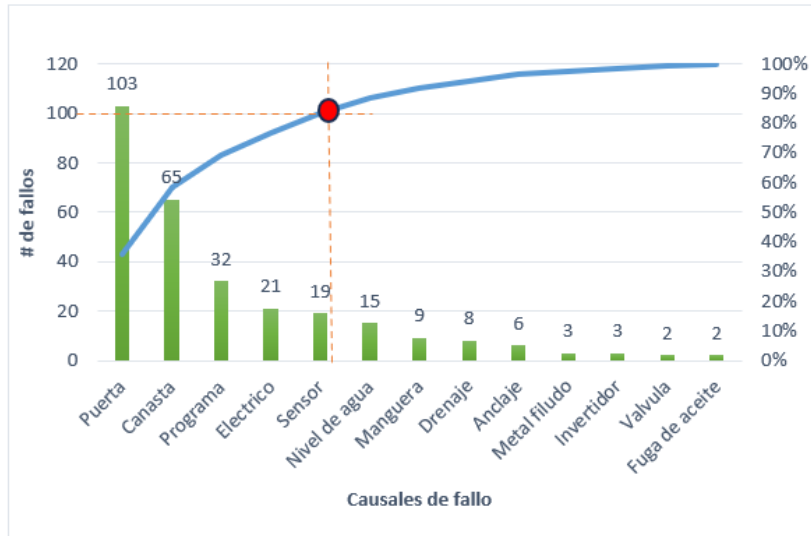


Nota. Lavandería industrial, maquinas Washex DTF 5000 periodo evaluado julio 2022 a junio 2023, maquinas identificadas para su reparación en orden de prioridad #1, #12, #2, #5, #6 y #8. Elaboración propia, realizado con Excel.

Así mismo, a partir de esta información se elaboran los gráficos de Pareto, de tal manera que nos permite identificar cuáles son los tipos de fallas más frecuentes de las máquinas lavadoras, que representan el 20 % de los causales de fallas y que al ser reparadas permiten obtener el 80 % de resultados a los problemas de las máquinas de lavandería.

Figura 20.

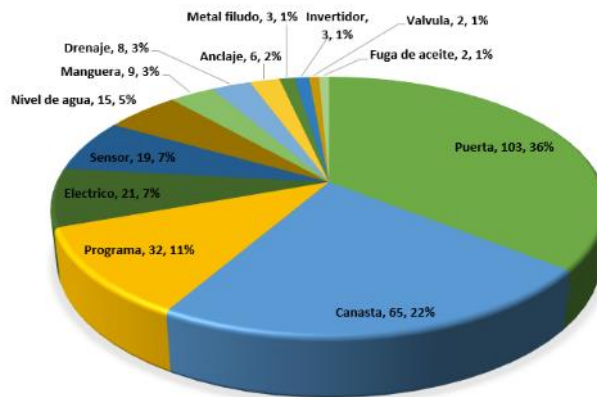
Diagrama de Pareto causales de falla por lavadora



Nota. Gráfica con el diagrama de Pareto. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 21.

Gráfica de circular de causales de falla por lavadora



Nota. Lavandería industrial, maquinas Washex DTF 5000 periodo evaluado julio 2022 a junio 2023, tipos de fallas identificadas para su reparación en orden de prioridad puerta, canasta, programa, eléctrico y sensor. Elaboración propia, realizado con Excel.

A continuación, se muestra la figura donde podemos mostrar el tipo de falla con mayor frecuencia en las máquinas lavadoras.

Figura 22.

Puerta de una máquina lavadora



Nota. Lavandería industrial, maquina lavadora #1 muestra el causal de falla con mayor frecuencia: puerta y sus componentes de fallo. Elaboración propia.

Este es el causal de fallas que mayormente ocurre en esta lavandería industrial, su índice de fallo del 36 %, para lo cual se determinó que la contaminación que provoca el polvo de la piedra poma afecta significativamente el funcionamiento normal de la máquina lavadora, debido a que este corrompe el

mecanismo del sistema neumático, produce desgaste interno en el cilindro principal del eje de la puerta, el cual tiene por función abrir y cerrar la puerta, así mismo el trabador que sujeta la puerta, afecta todo los sensores y circuitos electrónicos que componen el sistema de la máquina, dañándolos hasta que estos fallen, afectan las tarjetas y componentes del programa principal de la máquina, esto produce que los procesos en algún momento determinado sean interrumpidos imprevistamente.

Así mismo las bolsas de aire que están ubicadas en el frente de la puerta sufren en su sistema neumático, los sellos alrededor de la puerta sufren de desgaste producidos por la acumulación del polvo interno y estos producen que la puerta no selle bien y tiende a tener fugas de agua y químicos por no tener sellos en condiciones ideales, cabe mencionar que este problema afecta otros componentes en menor frecuencia, pero que a su vez representan un alto impacto financiero en la reparación de una falla, tal es el caso de los motores eléctricos y bandas el cual están expuestos a la contaminación y ambiente que genera el polvo de la piedra poma.

Como segundo causal de fallas están las canastas de la máquinas lavadoras, debido a la naturaleza del proceso de desgaste producido por la abrasión de la piedra poma, esta es la razón principal del fallo, el cual está compuesta de acero inoxidable calidad 316, gauge 10, para efecto de comparación en el tamaño de las máquinas lavadoras residenciales que son de aproximadamente 35 libras, las máquinas lavadoras de producción de esta industrial son de 800 libras, es decir 23 veces más grandes a las utilizadas en casa, a manera de visualización una persona cabe perfectamente parada dentro de la canasta.

El desgaste producido en el metal de la canasta ocasiona que el metal tenga partes con filo, el cual representa un alto riesgo de daño para la producción, ya que esta puede romper la tela de los pantalones y dañar buena parte de la carga de la lavadora, por consiguiente se necesita realizar una inspección precisa en la canasta, para asegurar que no existe partes con filo en toda su parte interna y orilla de la canasta, al ser identificada alguna parte con filo, esta debe ser reparada inmediatamente.

A continuación, se muestra la siguiente figura donde se muestra la segunda causal de fallas con mayor frecuencia en las máquinas lavadoras.

Figura 23.

Canasta de una máquina lavadora



Nota. Lavandería industrial, maquina lavadora #1 muestra el 2do. causal de falla con mayor frecuencia: canasta dañada. Elaboración propia.

5. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

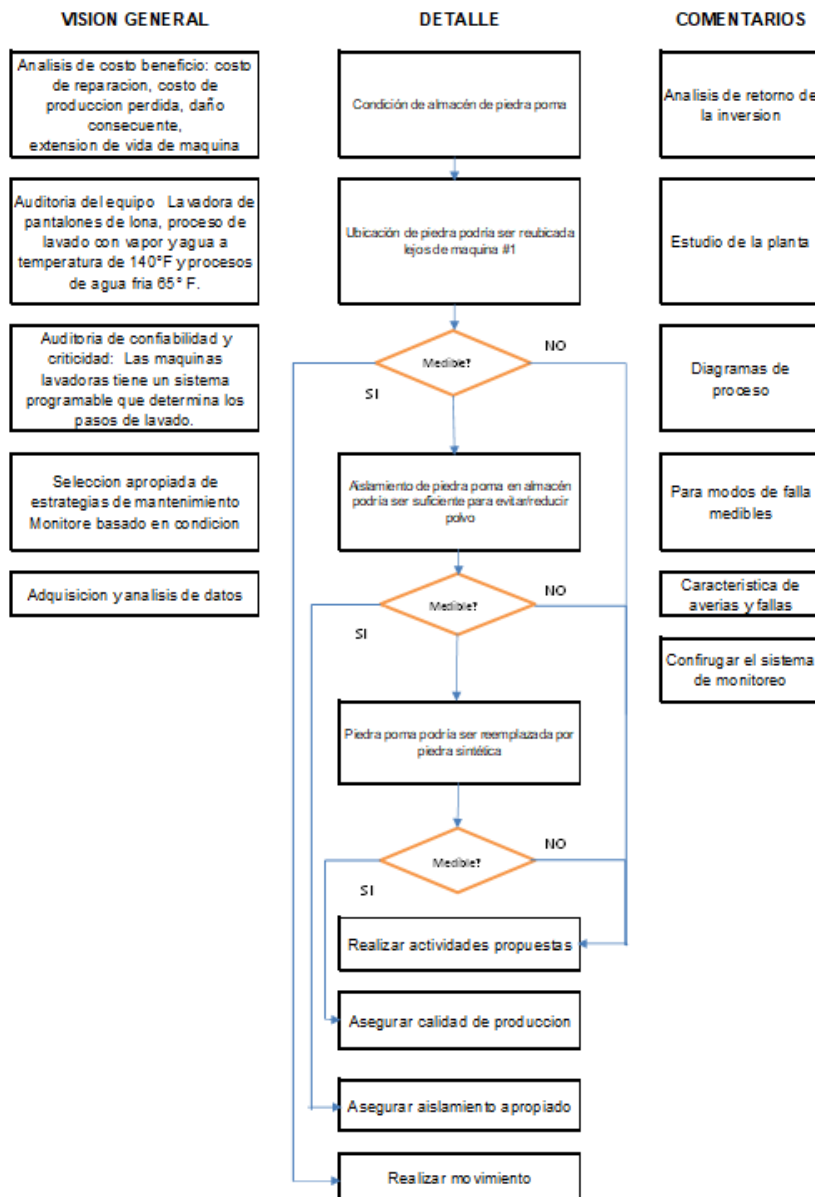
Como propuesta de solución, se presenta el plan de monitoreo basado en la condición de las máquinas lavadoras Washex de tipo industrial para el lavado de pantalones de lona en una lavandería industrial, ya que es fundamental asegurar el funcionamiento eficiente de la máquina, reducir el tiempo de inactividad no planificado y prolongar la vida útil de los equipos.

5.1 Control y manejo de la piedra poma

A continuación, se proporciona el diagrama de flujo de monitoreo de condición, con el fin de lograr controlar el manejo de la piedra poma y resolver el problema del polvo que la piedra poma produce, en su trayecto hacia la máquina lavadora.

Figura 24.

Diagrama de flujo de monitoreo de condición



Nota. ISO 17359:2018 Control y manejo de piedra poma, para resolver el problema del polvo de piedra poma, lavandería industrial con máquinas Washex, Modelo DTF 5000. Elaboración propia, realizado con Word.

5.2. Lista de actividades para el control de piedra poma

Lista de actividades a realizar para resolver el causal de fallo #1 identificado como la puerta de la máquina lavadora.

Tabla 9.

Control y manejo de piedra poma/ listado de actividades

#	Descripción de actividad propuesta	Responsable	Frecuencia	Instrucción/Criterio
1	Mojar con agua fría inventario de piedra poma	Operador	cada hora	Asegurar piedra está húmeda
2	Mojar con agua fría piedra poma en carros de lavandería	Operador	cada hora	Asegurar piedra está húmeda
3	Tiempo de mojar piedra poma deber ser sufriente	Operador	cada hora cada 2	Duración mínima 5 minutos
4	Revisar que piedra poma esta mojada	Supervisor	hrs.	Inspección
5	Inspección VOSO (Ver, Oler, Sentir, Oír) del área	Operador	Diario	El propósito es eliminar polvo en maquina
6	Uso de mascarilla como parte de equipo protección personal	Supervisor	Diario	Por seguridad usar mascarilla
7	Reabastecimiento de inventario de piedra poma debe ser mojada al llegar al lugar de almacén	Operado de montacargas	Diario	Mojar piedra al reabastecer
8	Establecer inventario adecuado de almacén de piedra poma	Gerente	Mensual	Basado en volumen de trabajo
9	Asegurar manguera de agua trabaje adecuadamente	Mantenimiento	Mensual	Inspección
10	Limpieza del área con aspiradora	Mantenimiento	Mensual	Componentes principales de maquina
1	Considerar sistema humidificador automático a almacén de piedra poma	Gerente	6 meses	Evaluación
1	Instalar manguera cerca de almacén de piedra poma	Mantenimiento	Anual	Basado en condición de manguera

Nota. Lista de actividades para resolver el problema del polvo de piedra poma, Lavandería Industrial con Maquinas Washex, Modelo DTF 5000 durante el periodo evaluado junio 2022 a julio 2023. Elaboración propia, realizado con Word.

5.3 Técnicas END para el monitoreo de condición

El mantenimiento predictivo basado en el monitoreo de condición emplea diversas técnicas de ensayos no destructivos que se utilizan para diagnosticar una máquina. Su principal objetivo es identificar la falla antes de que esta ocurra. A continuación, podemos mencionar las siguientes técnicas que identifican el diagnóstico del metal de la canasta de la lavadora:

- Inspección visual VOSO
- Control de desgaste
- Líquidos penetrantes
- Ultrasonido

A través de las técnicas mencionadas anteriormente, se podrá asegurar que la falla será identificada antes de que ocurra, lo cual es de suma importancia para impedir que el filo producido en la canasta dañe la producción de la carga en la lavadora.

5.4. Refuerzo de canasta en máquina lavadora

Para el presente estudio de investigación se ha constatado que la segunda causal de fallo con más frecuencia es la canasta de la máquina lavadora, como se pudo determinar, es un problema muy común en las lavanderías industriales debido al desgaste producido por el proceso de abrasión que produce la piedra poma. De antemano sabemos, que la canasta de la máquina lavadora sufrirá dicho desgaste en su componente de la canasta, se ha establecido un procedimiento para proteger la misma, para el cual se han mandado a fabricar 8 secciones de lámina de acero inoxidable de calidad 316, con espesor calibre 12, estas secciones conforman el set que se instala por encima de la canasta original

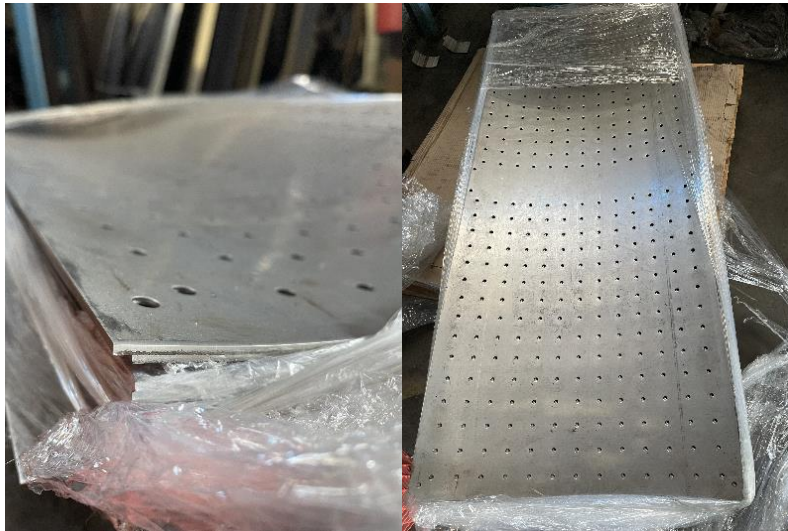
de la máquina, comúnmente llamados “liners” con el fin de salvaguardar la vida útil de esta. A medida que transcurren los tiempos y el proceso de lavado con piedra, la abrasión ocasiona el desgaste del metal de la lámina que fue sobrepuesta para protección, hasta alcanzar su límite de grosor, donde se produce el filo no deseado en el metal. Este hecho es considerado de alto riesgo para la producción, puesto que dañará la carga en la máquina en cuanto suceda.

La falla de la canasta es considerada inminente, por lo tanto, como medida de solución, se recomienda hacer las láminas de metal más resistentes a su estado normal de condición. Para que esto suceda, se debe realizar desde la fabricación de las láminas de acero inoxidable con el tratamiento conocido como endurecimiento superficial, este es realizado por el proceso de temple en frío, el cual pretende extender la vida útil del metal y, por ende, se proponen los siguientes dos métodos.

- Nitruración por proceso termoquímico
- La nitro-carburación Tenifer

Figura 25.

Refuerzo de metal protector de canasta de lavadora



Nota. Lavandería industrial, máquina lavadora #1 muestra el 2do. causal de falla con mayor frecuencia: Canasta dañada. Elaboración propia.

5.5. Monitoreo de estado de condición

El monitoreo basado en condición es fundamental para evitar pérdida de tiempo costoso debido a la inactividad y garantizar el tiempo de la producción de pantalones de lona de alta calidad en una lavandería industrial. Mantener las máquinas en un estado de funcionamiento adecuado, también contribuye a prolongar su vida útil y disminuir los costos operativos a largo plazo.

Para resolver los causales de fallo de las maquinas lavadoras, se presenta a continuación la tabla para el monitoreo de estado de condición.

Tabla 10.

Medidas y parámetros para diagnóstico de condición de monitoreo

Falla	Temp.	Presión aire	Flujo de aire	Sucio	Carga de trabajo	Corrie.	Volt.	vapor	Ruido	Vibra	Fuga	Vel.	Desgaste	Filo	Corro.
Sistema neumático	X	X	X	X	X	X			X		X				
Cilindro / bushing	X	X	X	X	X	X			X				X		X
Sujetador de puerta	X	X	X	X	X	X			X	X	X		X		X
Sensores	X	X	X	X	X	X									X
Componentes electrónicos	X	X	X	X	X	X							X		X
Tarjetas de programa	X	X	X	X	X	X							X		X
Bolsas de aire	X	X	X	X	X	X			X						
Sellos	X	X	X	X	X	X					X				
Caparazón de puerta	X	X	X	X	X	X							X		X
Puerta	X	X	X	X	X	X			X		X		X		X
Canasta	X	X	X	X	X	X				X	X		X		X
Programa	X	X	X	X	X	X									
Eléctrico	X	X	X	X	X	X			X						
Nivel de agua	X	X	X	X	X	X					X		X		
Mangueras	X	X	X	X	X	X				X	X		X		
Drenaje	X	X	X	X	X	X				X	X		X		X
Anclaje	X	X	X	X	X	X				X			X		X
Metal fluido	X	X	X	X	X	X							X		X
Invertidor	X	X	X	X	X	X			X						
Válvula de vapor	X	X	X	X	X	X			X	X	X		X		X
Válvula de agua	X	X	X	X	X	X			X	X	X		X		X

Nota. Información de condición de monitoreo basada en norma ISO 13380:2002 (E) para una lavandería industrial con máquinas Washex, modelo DTF5000. Elaboración propia, usando Excel.

CONCLUSIONES

1. Se determinó el número de horas de fallo de cada una de las máquinas lavadoras *Washex*: máquina#1-231 hrs., máquina#2-30 hrs., máquina #3-10 hrs., máquina#4-97 hrs, máquina#5-32 hrs, máquina#6-132 hrs., máquina#7-33 hrs., máquina#8-115 hrs., máquina#9-42 hrs., máquina #10-0 hrs., máquina#11-24 hrs., máquina#12-11 hrs, máquina#13- 31 hrs.
2. Se determinaron los causales y la frecuencia de falla en el funcionamiento de las maquinas lavadoras *Washex*: Nivel de agua-15 veces, Sensor-19 veces, programa-32 veces, metal con filo-3 veces, invertidor- 3 veces, válvula-2 veces, puerta -103 veces, canasta-65 veces, manguera-9 veces, eléctrico-21 veces, drenaje-8 veces, anclas-6 veces, fugas de aceite-2 veces.
3. Basado en la matriz de criticidad elaborado, se determinó la prioridad de reparación de las máquinas lavadoras *Washex*; en función de la cantidad de fallos y los causales de fallas, siendo estos: la puerta, la canasta, el programa, el problema eléctrico y los sensores.
4. Se determinó, que la elaboración de un plan de mantenimiento adecuado que prevenga o reduzca las deficiencias y la constante actividad de reparación de las maquinas lavadoras *Washex* producirá un impacto económico significativo para el departamento de lavandería, ya que reducirá los tiempos de maquina paradas por fallos, incrementara la productividad y mejorara el tiempo de entrega de la producción para los clientes.

RECOMENDACIONES

1. Para solucionar el problema de las máquinas lavadoras *Washex*, se utilizó el diagrama de Pareto o regla 80/20 y de acuerdo al número de horas de fallo, la maquina #1 representa el 26 %, por lo tanto, se recomienda tener en cuenta el plan de monitoreo basado en condición. Se proporciona el diagrama de flujo de monitoreo conforme a ISO 17359:2018 aplicado al control y manejo de piedra poma, con el objetivo de resolver la problemática del polvo. Asimismo, se presenta un listado de actividades para el control y manejo de la piedra poma. Por otro lado, se recomienda mantener actualizados los indicadores claves de la gestión de mantenimiento, siendo estos KPI: MTBF, MTTR y el grado de confiabilidad de las máquinas.
2. Para resolver el problema de las maquinas lavadoras *Washex*, se utilizó el diagrama de Pareto o regla 80/20 y de acuerdo a los causales y la frecuencia de fallas, la causal puerta representa el 36 %, por lo que se recomienda considerar el uso de un equipo de detección y diagnóstico, así como la combinación de técnicas de ensayo no destructivo para el monitoreo de condición.
3. Para establecer la prioridad de reparación de las maquinas lavadoras *Washex*, se recomienda establecer rutinas de inspección de mantenimiento predictivo asociadas a los elementos que presentan los modos de falla, respaldada por instrumentos de medición, es necesario apoyarse en el desarrollo del trabajo del personal técnico operativo, por el cual se presenta una tabla de medidas y parámetros utilizados para el

diagnóstico de condición de monitoreo, basada en la norma ISO 13380:2002 (E).

4. El plan de mantenimiento basado en monitoreo de condición en combinación con las técnicas de ensayos no destructivos logrará detectar la falla de los elementos de las máquinas lavadoras antes de que estas ocurran, el diagnóstico y la corrección temprana de estos problemas de fallo, mejorará la disponibilidad, reducirá los costos operativos y de mantenimiento, así como extenderá la vida útil de las máquinas lavadoras *Washex*.

REFERENCIAS

- Atz, M. (2018). *Propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para el servicio de lavandería del hospital nacional de Chimaltenango* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. <https://core.ac.uk/download/pdf/154906814.pdf>
- Cansino, K. (2022). *Actualización del sistema de gestión de mantenimiento y aplicación de RCM en sistema de puertas de buses SCANIA articulados K320 IA 6x2 y biarticulados F340 HA 8x2 para aumentar la disponibilidad y disminuir el número de fallas en los equipos* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/5163>
- Coats (2023). *Lavado de Mezclilla*. Autor. (<https://coats.com/es/information-hub/Denim-Wash>)
- Colmenares, I. (2022). *Principios de la medición de fugas en equipos de aire. cs-instruments. Fugas.* https://www.cs-instruments.com/fileadmin/cs-data/Fachaufsaetze/Fachaufsatz_ES/Scientific_paper_Leakage_ESP.pdf
- Echeverri, V. (2020). *Automatización, adición e implementación de seguridades para lavadora industrial en modo manual.* [Tesis de pregrado, Universidad abierta y a distancia]. Archivo digital. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/33793>

- Gusman, A. (2021). *Mejora del Sistema de Conducción de Aire Comprimido en la Empresa Riopaila Castilla S. A.* [Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño]. Archivo digital. http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/5985/1/2021_Andr%C3%A9FelipeGuzm%C3%A1nMart%C3%ADnez.pdf
- Guzmán, C. (2013). *Plan de análisis de modos/efectos de falla y plan de mantenimiento para una máquina industrial lavadora de prendas.* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Occidente]. Archivo digital. <https://red.uao.edu.co/handle/10614/5002>
- Madrid, M., & Valle., L. (2015). *Determinación de pérdidas por fugas en tuberías de aire comprimido mediante la técnica de ultrasonido pasivo en el laboratorio de mantenimiento predictivo de la Facultad de Mecánica* [Tesis pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Archivo digital. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4207>
- Mancuzo, G. (2020) *Mantenimiento preventivo, frecuencia de fallas en mantenimiento.* ComparaSoftware. <https://blog.comparasoftware.com/frecuencia-de-mantenimiento/>
- Mejía, E. (2021). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la productividad en el area de lavandería de la empresa Jec Service S.A.C Puene Piedra* [Tesis de maestría, Universidad Cesar Vallejo]. Archivo digital. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/86392>
- Mendoza, D. (2021). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para reducir las paradas imprevistas del sistema de producción de vapor y agua caliente para los servicios usuarios del Hospital de Ayacucho.*

- [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú]. Archivo digital.
<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/5281>
- Montilla, C. (2019). *Mantenimiento Industrial y su Administración*. Editorial UTP.
<https://core.ac.uk/download/288157713.pdf>
- Mora, L. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control* (1ª edición)
Alfaomega Grupo Editor.
- Nuniez, L. (2019). *Aplicación del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las lavadoras industriales en la empresa textil Pieers S.A.C* [Tesis de maestría, Universidad Cesar Vallejo]. Archivo digital.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75100>
- Obregon, J. (2020). *Estudio de la industria 4.0 y los sistemas de neumática proporcional. Guía de circuitos electroneumáticos*. [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Archivo digital.
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/15531>
- Pilco, M. (2021). *Tenología para la automatización del proceso de tenido stone en máquina lavadora industrial de jeans*. [Tesis de postgrado, Universidad Técnica de Ambato]. Archivo digital.
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/33188>
- Rodríguez, J. (2013). *Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora*. Editorial CEIM-Cujae.
https://www.academia.edu/8349614/Libro_de_Gestion_de_Mantenimiento

Sanchez, F. (2013). *Mejora de la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad en el área de lavandería industrial de la empresa S&E Servicios Generales S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Archivo digital. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/1359>

Toledo, C. (2021). *Eficiencia Energética de Sistemas Neumáticos en Industria Alimenticia* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Archivo digital. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/17179>

Villanueva, R. (2007). *Implementación de un programa de mantenimiento preventivo y predictivo para el sistema de lavandería del hotel Los Delfines.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/14444>

APÉNDICES

Apéndice 1.

Matriz de consistencia

No.	Objetivo	Conclusión	Recomendación
1	Identificar el número de horas de fallo de cada una de las máquinas lavadoras de producción	El número de horas de fallo de cada una de las máquinas lavadoras de producción son #1-231, #12-111, #4-97, #5-32, #6-132, #8-115, #13-31, #2-30, #9-42, #7-33, #11-24, #3-10, #10-0.	Para resolver el problema de la máquina #1 se debe considerar un listado de actividades para el control y manejo de la piedra poma.
2	Definir los causales y la frecuencia de fallas en el funcionamiento de las máquinas lavadoras de producción.	Los causales de falla en el funcionamiento de las lavadoras de producción son puerta, canasta, programa, problema eléctrico, sensor, nivel de agua, manguera, drenaje, anclaje, metal con filo, invertidor, válvula y fuga de aceite.	Para resolver el problema de la puerta se debe considerar el uso de equipo de detección y diagnóstico y para la canasta se propone utilizar en la fabricación de las láminas de acero inoxidable, el proceso de tratamiento termoquímico para el endurecimiento superficial.
3	Categorizar la prioridad de reparación de las máquinas lavadoras de producción en función de la cantidad de fallos y de los causales de fallas.	La prioridad de reparación de las máquinas lavadoras de producción en función de la cantidad de fallos y de los causales de fallas son la puerta, la canasta, el programa, problema eléctrico y los sensores.	Establecer rutinas de inspección de mantenimiento predictivo asociado a los elementos que presentan los modos de falla. Debe aplicarse una inspección rutinaria en cada uno de los elementos, apoyado con instrumentos de medición. También debe apoyarse en el trabajo del personal técnico operativo.
G	Diseñar un plan de mantenimiento basado en el monitoreo de	El plan de mantenimiento basado en el monitoreo de condición para las lavadoras	El plan de mantenimiento basado en monitoreo de condición debe incluir inspecciones periódicas,

Continuación Apéndice 1.

condición para las lavadoras Washex de tipo industrial para la producción de pantalones de lona para una lavandería industrial	Washex de tipo industrial para la producción de pantalones de lona para una lavandería industrial es posible, a través de la combinación de técnicas de ensayos no destructivos, de tal manera que se puedan identificar aquellos elementos deficientes que ya no cumplen con su función original. La detección y corrección temprana de problemas de fallo, mejorará la disponibilidad, reducirá los costos operativos y de mantenimiento.	limpieza y ajustes de equipos clave para detectar la falla de los elementos de las máquinas lavadora antes que estos ocurran. El polvo de la piedra poma es una de las razones principales que produce daños a los elementos de la lavadora, así mismo esta piedra en su estado natural produce el desgaste por abrasión. Es por ello que es la segunda causa principal de las fallas, el uso de tecnología moderna y eficiente desde el punto de vista de mantenimiento es efectiva y eficiente.
--	---	---

Nota. Se presenta la matriz de consistencia. Elaboración propia, realizado con Word.

Apéndice 2.

Toma de datos en campo

Operador: _____

Temperatura ambiente: _____

Humedad ambiente: _____

Fecha	Máquina	Estado de Condición	Tipo de abrasión
--------------	----------------	----------------------------	-------------------------

Observaciones: _____

Nota. Formato para la toma de información de campo en la lavandería. Elaboración propia, realizado con Word.

ANEXOS

Anexo 1.

Especificaciones de lavadora industrial Washex

Description		DTF 5000
Shell	Shell sheet (304 SS)	10 ga = 3,4 mm
	Rear Head (carbon steel clad with stainless)	1 in = 25,4 mm
	Cladding Thickness (inner surface of rear head, 304 SS)	12 ga = 2,7 mm
	Front Head (Hot Rolled)	1 in = 25,4 mm
	Insulation Thickness (optional)	1/2 in = 12,7 mm
Cylinder	Diameter	79 in = 2 007 mm
	Depth	63 in = 1 600 mm
	Volume	178.7 cu ft = 5 000 L
	Door Opening	50 in = 1 270
	Door Height	35 1/2 in = 902 mm
	Cylinder sheet (304 SS)	10 ga = 3,4 mm (optional – inserts 10 ga = 3,4 mm)
	Rear Head (carbon steel clad with stainless)	1 in = 25,4 mm
	Cladding Thickness (inner surface of rear head, 304 SS)	1/4 in = 6,4 mm
	Cladding Thickness (outer surface of rear head, 304 SS)	12 ga = 2,7 mm
	Front Head (304 SS)	1/4 in = 6,4 mm
	Breakers, 304 SS	10 ga = 3,4 mm (optional – breaker caps 7 ga = 4,5 mm)
Cylinder Speed (nominal rpm)	Wash	27 rpm
	Balance	42 rpm
	Extract	134 rpm, G-Force = 20

Continuación Anexo 1.

Description		DTF 5000
Drive Motor		30.0 hp = 22,4 kw
Tilt	Unload	18°
Supplies	Manual Supply Canister	10 Gal. = 37,9 liters
	External Couplings for injecting liquid chemicals from supply system	14 couplings – 10 above water level, 4 below water level 1 in NPT
	Liquid supply signals	12
Water^{3,4} (hot, cold, and optional 3rd and 4th)	Inlet Valve, pneumatic	3 in NPT
	Valve Cv Rating	186 gal/min = 704,1 liters/min
	Recommended Pressure (at machine)	40 to 75 psi = 2,7 to 5,2 bar
	Overflow Level	45 in = 1 143 mm
	Maximum Capacity of Liquid	1043.1 Gal = 3 948,6 liters
Drain (waste and optional 2nd and 3rd)	Outlet (standard down drain)	8 in = 203 mm
	Draining Capacity (standard down drain)	350 gal/min = 1 325 liters/min
Steam³	Inlet Valve	1 ½ in NPT
	Recommended Pressure (at machine)	80 to 100 psi = 5,5 to 7,0 bar
	Heat 10 inch water level from 65° to 180° F	129,621 BTU = 136 724 kJ
Air^{3,5}	Inlet	½ in NPT
	Peak Demand	8 cfm = 13,6 m ³ /hr
	Pressure (at machine)	100 psi = 7 bar
Electrical^{6,7}	Available Voltages	208, 240, 480, or 575 Volt, 60 Hertz 220, 380, or 415 Volt, 50 Hertz
	Total Rating	30 hp = 22,4 kw
	Main Circuit Breaker	U.S. and Canada– Westinghouse–equivalent thermal magnetic Europe & other– Common trip bar thermal magnetic type

Nota. Especificaciones de lavadora industrial Washex. Obtenido de Manual del fabricante 225 D5.

(http://userfile.alephnetwork.com/files/b2qmarekt_vendor/Washer-Extractors%20Line.pdf)

consultado el 15 de julio de 2023. De dominio público.

