

UNIVERSIDAD
HISPANOAMERICANA
INGENIERÍA INDUSTRIAL

MEJORA EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE
MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DE LAS MÁQUINAS
MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA HERRAMIENTA
EN POWER BI EN RESONETICS COSTA RICA, ZONA
FRANCA COYOL DE ALAJUELA DURANTE EL SEGUNDO
SEMESTRE DEL AÑO 2021

PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR
POR EL BACHILLERATO EN INGENIERÍA
INDUSTRIAL

WENDY MOLINA FERNÁNDEZ

TUTOR: ING. ROLANDO MOLINA SOLÍS

DICIEMBRE, 2021



Acta de Graduación

Ante el Tribunal Calificador de la Universidad Hispanoamericana, integrado por: **Ing. Ana Catalina Leandro Sandi**, representante dirección de carrera, **Ing. Rolando Molina Solís** tutor y **Ing. Esteban Beita Navarro** lector, se presenta a la postulante **Molina Fernández Wendy Valeria** Cédula n° **1-1401-0530** quien hace defensa pública de su trabajo final de graduación, titulado: **"MEJORA EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DE LAS MÁQUINAS MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA HERRAMIENTA EN POWER BI EN RESONETICS COSTA RICA, ZONA FRANCA COYOL DE ALAJUELA DURANTE EL SEGUNDO SEMESTRE DEL AÑO 2021"**. Para optar por el grado académico de **Bachillerato en Ingeniería Industrial**.

Una vez escuchada la exposición del postulante y habiendo procedido al período de preguntas por parte de los miembros del Tribunal, se procede en privado a la deliberación de rigor y se concluye que a la estudiante: **Molina Fernández Wendy Valeria**, ha **aprobado** su requisito de graduación con un puntaje de **95** en la escala de 0 a 100.

Firmado en la Universidad Hispanoamericana el día: jueves 10 de febrero del 2022.

Director(a) de Carrera: _____

Tutor(a): _____

Lector(a): _____

Estudiante: _____

DECLARACIÓN JURADA

Yo Wendy Molina Fernández, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 1-14010530 egresado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Mejora en el sistema de gestión de mantenimientos preventivos de las máquinas mediante la construcción de una herramienta en Power BI en Resonetis Costa Rica, Zona Franca Coyoil de Alajuela durante el segundo semestre del año 2021.

es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. en fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 04 días del mes de marzo del año dos mil veintidos.



Firma del estudiante

Cédula

Carta de Lector

CARTA DE LECTOR

Heredia,

**Universidad Hispanoamericana
Sede Heredia
Carrera Ingeniería Industrial**

Estimado señor

La estudiante WENDY MOLINA FERNÁNDEZ, cédula de identidad 1-1401-0530, me ha presentado para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado " MEJORA EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DE LAS MÁQUINAS MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA HERRAMIENTA EN POWER BI EN RESONETICS COSTA RICA, ZONA FRANCA COYOL DE ALAJUELA DURANTE EL SEGUNDO SEMESTRE DEL AÑO 2021", el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atte.

Firma

Nombre Ing. Esteban Beita Navarro.

Cédula 1-1069-0046

Carné IPI-27501

Dedicatoria

Este logro quiero dedicarlo a mis padres Verónica Fernández Jiménez y a Roy Molina Martínez, ellos son mi inspiración en todo momento, mi más vivo ejemplo de superación, perseverancia, valentía y determinación. A mis hermanos por todo el apoyo y en especial en la memoria de mi hermano Roy.

Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento a Dios por darme la oportunidad de llegar hasta aquí, a mi familia por darme el apoyo durante todo este proceso. Mi más agradecimiento a mis amigos por creer en mí, a las personas que me aconsejaron profesionalmente, a mi tutor el Ing. Rolando Molina Solís por el apoyo y asesoramiento todo este tiempo, a la empresa Resonetics S.A. por darme la oportunidad de desarrollar este proyecto, un lugar donde he conocido a personas con una calidad humana muy especial.

Epígrafes

“El éxito debe medirse, no por la posición a que una persona ha llegado,
sino por su esfuerzo a triunfar” Booker T. Washigton.

Índice

ACTA DE APROBACIÓN	II
DECLARACIÓN JURADA	III
CARTA DE LECTOR	IV
AGRADECIMIENTOS	VI
EPÍGRAFES	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ACRÓNIMOS Y SIGLAS	XII
RESUMEN.....	XIII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	2
1.2. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA	4
1.2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	4
1.2.2. ANTECEDENTES DEL CONTEXTO DE LA EMPRESA	5
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	7
1.3.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	7
1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	9
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	9
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	9
1.5.1. ALCANCE	9
1.5.2. LIMITACIONES.....	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	11
2.1. MARCO CONCEPTUAL GENERAL RELATIVO A LA CARRERA	12
2.1.1. INGENIERÍA INDUSTRIAL	12
2.1.2. SISTEMA DE GESTIÓN.....	12
2.1.3. MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	13
2.1.4. MANTENIMIENTO PREVENTIVO	15
2.1.5. <i>BUSINESS INTELLIGENCE (BI)</i>	16
2.1.6. POWER BI	17
2.2. MARCO CONCEPTUAL ATINENTE A LA GESTIÓN DEL PROYECTO	21
2.2.1. SEIS SIGMA	21
2.2.2. METODOLOGÍA DMAIC	22
2.2.3. DEFINIR.....	23
2.2.4. MEDIR (MEASURE)	24
2.2.5. ANALIZAR (ANALYZE)	26
2.2.6. MEJORAR (IMPROVE).....	28
2.2.7. CONTROLAR (CONTROL)	28
2.3. MARCO CONCEPTUAL REFERENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO	29
2.3. ANTECEDENTES DE PROYECTOS O EXPERIENCIAS SEMEJANTES.....	30
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	31
3.1. METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	32
3.2. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y RESPALDO CUALITATIVO DEL PROYECTO.	34

3.3. METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE MEJORA CONSTRUCCIÓN PUESTA EN PRÁCTICA DE UN NUEVO PROCESO, PRODUCTO O SERVICIO.	36
3.4. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	41
3.5. METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN, ASEGURAMIENTO, CONTROL Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS.....	41
CAPÍTULO IV: LÍNEA BASE Y ANÁLISIS DE CAUSAS.....	43
4.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	44
4.2 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	60
CAPÍTULO V: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN	61
5.1 CICLO PHVA	62
5.2 FASE PLANEAR: PLAN DE ACCIÓN DE LA PROPUESTA	62
5.2.1 ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO DE LA PROPUESTA	63
5.3 FASE HACER: DIAGRAMA GANTT DEL PROYECTO	65
5.3.1 DASHBOARD PARA GESTIÓN DE LOS MANTENIMIENTOS	67
5.4 FASE VERIFICAR: PLAN DE CONTROL Y VERIFICACIÓN DEL PROYECTO	70
5.5 FASE ACTUAR: PLAN PILOTO PARA VERIFICACIÓN DE EFECTIVIDAD	70
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
6.1 CONCLUSIONES	75
6.2 RECOMENDACIONES.	76
BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXO 1	78

Índice de Figuras

FIGURA 1 FOTOGRAFÍA DE LAS INSTALACIONES DE RESONETICS EN COSTA RICA.....	4
FIGURA 2 ORGANIGRAMA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.	5
FIGURA 3 PROCESO DE INTELIGENCIA DE NEGOCIO.....	18
FIGURA 4 PARTES DE POWER BI.....	19
FIGURA 5 INTERFAZ DE USUARIO POWER BI	19
FIGURA 6 PARTES DE INTERFAZ POWER BI DESKTOP	20
FIGURA 7 PARTES DE POWER QUERRY	21
FIGURA 8 HERRAMIENTAS DEL CICLO DMAIC	22
FIGURA 9 DIAGRAMA SIPOC	24
FIGURA 10 DIAGRAMA DE FLUJO.	25
FIGURA 11 SÍMBOLOS COMUNES DE UN DIAGRAMA DE FLUJO.	26
FIGURA 12 DIAGRAMA CAUSA Y EFECTO.....	27
FIGURA 13 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROGRAMACIÓN DE PM EN RESONETICS.....	35
FIGURA 14 DIAGRAMA CAUSA Y EFECTO.....	37
FIGURA 15 DIAGRAMA DE FLUJO. PROCESO DE GESTIÓN DE LOS PM.....	48
FIGURA 16 GRÁFICO DEL ESTADO DE LOS PM DEL AÑO 2020.	49
FIGURA 17 GRÁFICO DEL PORCENTAJE DEL ESTADO DE LOS PM DEL AÑO 2020.....	50
FIGURA 18 GRÁFICO DE BARRAS DEL ESTADO DE LAS TAREAS DE PM, AÑO 2021.	51
FIGURA 19 PORCENTAJE DE TAREAS DE PM SEGÚN ESTADO, AÑO 2021.	51
FIGURA 20 TENDENCIA LOS PM COMPLETADOS A TIEMPO, AÑO 2020 Y 2021	52
FIGURA 21 TENDENCIA DE LOS PM COMPLETADOS A TIEMPO, AÑO 2020 Y 2021	52
FIGURA 22 TENDENCIA LOS PM COMPLETADOS A TIEMPO AÑO 2020 Y 2021	53
FIGURA 23 TENDENCIA HORAS UTILIZADAS EN REPARACIONES EN EL AÑO 2020 Y 2021	54
FIGURA 24 DIAGRAMA CAUSA- EFECTO APLICADA.	55
FIGURA 25 DIAGRAMA PARETO DE CAUSAS IDENTIFICADAS.	59
FIGURA 26 DIAGRAMA CAUSA EFECTO.....	59
FIGURA 27 DIAGRAMA GANTT DEL PROYECTO.....	66
FIGURA 28 PROPUESTA DASHBOARD DE PM	67
FIGURA 29 VISTA 1. PROPUESTA DE DASHBOARD DE PM	68
FIGURA 30 VISTA 2. PROPUESTA DE DASHBOARD DE PM	69
FIGURA 31 TENDENCIAS KPIS DE PM AÑO 2020 Y 2021.	71

Índice de Tablas

TABLA 1 DETALLE DE COSTOS POR MANTENIMIENTOS EJECUTADOS TARDE.	8
TABLA 2 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA ETAPA PARA DEFINIR.	32
TABLA 3 DIAGRAMA SIPOC DEL PROCESO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS.	32
TABLA 4. MATRIZ ES NO / NO ES.	33
TABLA 5 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN ETAPA MEDIR.	34
TABLA 6 CUADRO DE RECOLECCIÓN DE CANTIDAD DE PMS TARDE POR MES.	36
TABLA 7 METODOLOGÍA UTILIZADA EN ETAPA DE ANÁLISIS	37
TABLA 8 EJEMPLO DE MATRIZ DE DESCARTE Y 5 PORQUÉ.	38
TABLA 9 CRITERIO DE VALORACIÓN.....	39
TABLA 10 MATRIZ DE MULTICRITERIO.	40
TABLA 11 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN ETAPA DE MEJORA	41
TABLA 12 HERRAMIENTAS PROPUESTAS PARA LA ETAPA DE CONTROL	42
TABLA 13 RESULTADOS MATRIZ Es / No Es.	44
TABLA 14 RESULTADOS DIAGRAMA SIPOC.	45
TABLA 15 REPORTE DEL TOTAL DE TAREAS DE PM TOTALES DEL AÑO 2020.....	49
TABLA 16 REPORTE DEL TOTAL DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DESDE ENERO HASTA AGOSTO DEL 2021.	50
TABLA 17 REPORTE HORAS MENSUALES POR MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS EN EL AÑO 2020.	54
TABLA 18 MATRIZ DE DESCARTE Y 5 PORQUÉ APLICADA	56
TABLA 19 MATRIZ MULTICRITERIO APLICADA	57
TABLA 20 PROPUESTA DE ACCIONES CORRECTIVAS.....	62
TABLA 21 DETALLE DEL COSTO DE CADA ACCIÓN CORRECTIVA PROPUESTA	63
TABLA 22 TABLA RESUMEN DE COSTOS ESTIMADOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	64
TABLA 23 TABLA RESUMEN DE COSTE-BENEFICIO DEL PROYECTO	64
TABLA 24 PLAN DE VERIFICACIÓN, CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LAS PROPUESTAS.....	70

Acrónimos y Siglas

BI: Business Intelligence

DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar

ETL: Extract, Transform and Load

KPI: Key Performance Indicator

MP: Mantenimiento Preventivo

MPS: Master Plan Schedule

PHVA: Planear, Hacer, Verificar, Actuar

PM: Preventive Maintenance

SQL: Structured Query Language

TI: Tecnologías de la Información

WO: Work Order

Resumen

El proyecto fue desarrollado en la empresa Resonetics S.A ubicada en la Zona Franca Coyoil, Alajuela, empresa dedicada a la fabricación de componentes para dispositivos médicos (Molina, 2021). La dificultad en el seguimiento y control de la ejecución de los mantenimientos preventivos han contribuido a que se ejecuten tarde, generando fallas en las máquinas por atención tardía. Esto significa un incremento en los tiempos de paro por averías de las máquinas y producto defectuoso. El objetivo principal de este proyecto es el diseño de una herramienta creada en el servicio de análisis de datos de Microsoft Power BI para mejorar el sistema de gestión y control de los mantenimientos preventivos en Resonetics S.A.

Se aplicó la metodología DMAIC, para identificar la causa raíz del problema. Luego del análisis se plantea la propuesta y se establece un plan de control y seguimiento de la mejora en el proceso de gestión de los mantenimientos preventivos. Como parte de las soluciones planteadas, se diseñó un dashboard que permite la visualización de la descripción de las máquinas, las fechas de vencimiento, las órdenes asignadas a los técnicos; entre otros, en un informe creado en Power BI desktop. Los datos fueron extraídos mediante SQL server. Se ejecutó un plan piloto de dos meses para verificar la efectividad del prototipo como parte del proyecto. Las soluciones propuestas tienen como propósito el aumento de la productividad con la disminución de los tiempos de paros no programados y la reducción del material desechado por defectos producidos por el mal desempeño de las máquinas. Además, la planeación efectiva del mantenimiento preventivo de las máquinas favorece a la prolongación de la vida útil de las mismas y su buen desempeño cumpliendo así, con la norma internacional para la Gestión de la Calidad - ISO 13485:2016 que tiene un requisito para la gestión adecuada del mantenimiento de las máquinas y equipos. Esto permite a la compañía seguir exportando sus productos a mercados internacionales con la confiabilidad y excelencia que les caracteriza.

Capítulo I: Introducción

1.1. Descripción General del Proyecto

El proyecto se realizó en la empresa Resonetics, Costa Rica S.A. empresa líder en micro manufactura láser de componentes y ensamblajes para fabricantes de dispositivos médicos para las ciencias de la vida.

Resonetics cuenta con la certificación en la norma ISO 13485: 2016 que certifica la calidad de sus productos. Resonetics es auditada año a año para asegurar el cumplimiento del este estándar. La norma ISO 13485 define los requisitos de un Sistema de la Gestión de la Calidad para dispositivos médicos cuyo propósito es ayudar a los fabricantes a alcanzar las expectativas de los clientes mediante el cumplimiento con los requisitos regulatorios. Su implementación demuestra la conformidad de los productos a nivel mundial para asegurar el tratamiento, diagnóstico y mejora de la salud de las personas permitiendo así la de la exportación de sus productos a mercados internacionales.

En la auditoría interna realizada el año 2020 en Resonetics, se hizo una observación relacionada con los mantenimientos y el cumplimiento de las frecuencias de mantenimiento preventivo en el que se encontraron mantenimientos ejecutados tarde. El procedimiento interno para la realización de tareas de mantenimiento permite que se ejecuten 14 días después de la fecha de vencimiento, en caso de requerir una extensión del plazo para ejecutar alguna tarea, se debe solicitar al gerente de mantenimiento la firma de la orden su respectivo análisis de riesgo de extender el mantenimiento preventivo de la máquina y las acciones de mitigación cuando se requiera. Además, se han abierto tres Investigaciones en el sistema denominados CAPA para atacar este problema, sin embargo, las soluciones a la problemática han sido inefectivas por lo que es necesaria una solución robusta para este tema.

El fin mayor de este proyecto es presentar una solución que permita a la empresa mejorar el sistema la gestión de mantenimientos preventivos de las máquinas en cuanto al

cumplimiento a tiempo de las tareas de mantenimiento para prevenir paros no programados por daños en sus partes, y asegurar la calidad del producto dado por el desempeño adecuado de las máquinas en las instalaciones de Resonetics Costa Rica.

La estructura del documento está dada de la siguiente manera:

Capítulo I Introducción: Este capítulo es dedicado a la contextualización del proyecto y las generalidades de la compañía, en este capítulo se define el problema y los objetivos generales del proyecto.

En el capítulo II Marco teórico se describen los conceptos teóricos de ingeniería que respaldan el desarrollo del proyecto que está basada en la metodología DMAIC para resolución de problemas.

El capítulo III corresponde a la presentación del marco metodológico donde se describe el procedimiento utilizado en las diferentes Etapas de la metodología (DMAIC) y las herramientas e instrumentos aplicados en el proyecto.

En el capítulo IV Línea base y análisis de causas, se encuentra el diagnóstico que determina la situación actual realizado durante la Etapa de medición, luego se determinan las causas asignables que provocan el problema en la gestión adecuada de los mantenimientos preventivos en Resonetics Costa Rica.

En el capítulo V Diseño e implementación de la solución se realiza el diseño de la herramienta, se establece el plan de seguimiento para monitorear la efectividad de la propuesta de solución a implementar en la empresa.

Por último, en el capítulo VI Conclusiones y recomendaciones se mencionan las conclusiones y recomendaciones del proyecto para la empresa basado en el análisis y los

resultados.

Por último, se encuentra la bibliografía que contiene el respaldo teórico del proyecto.

1.2. Identificación de la Empresa

1.2.1. Descripción General de la Empresa

Resonetics es líder en micro fabricación de láser para las ciencias de la vida. Cuenta con capacidades en procesos la ablación, corte y soldadura con láser; corte por láser de nitinol, electropulido; y fabricación de tubos de pared delgada. Sus productos cambian millones de vidas al año. Lo destaca la pasión por la innovación, lo complementa así la misión de mejorar y salvar vidas de sus pacientes. Juntos colaboran para resolver desafíos complejos y desarrollar la próxima generación de dispositivos de ciencias de la vida. Actualmente Resonetics cuenta con 16 localidades, y su sede en Costa Rica se encuentra ubicada en Zona Franca Coyol en Alajuela.



COSTA RICA

Figura 1 Fotografía de las instalaciones de Resonetics en Costa Rica.

Fuente: recuperado de <https://resonetics.com/contact/>

➤ Misión y Visión

La visión de la organización se menciona a continuación:

Resonetics será el líder en micro fabricación de láser para las ciencias de la vida al proporcionar soluciones innovadoras y un servicio al cliente sin igual. (Resonetics, n.d.)

➤ Estructura Organizativa

Resonetics Costa Rica está formada por 132 colaboradores. Para fines del proyecto se detalla únicamente la sección del organigrama correspondiente al departamento de mantenimientos conformado por 26 integrantes y el gerente del área donde se desarrollará el proyecto.

La estructura organizativa del departamento se detalla a continuación en la Figura 2:

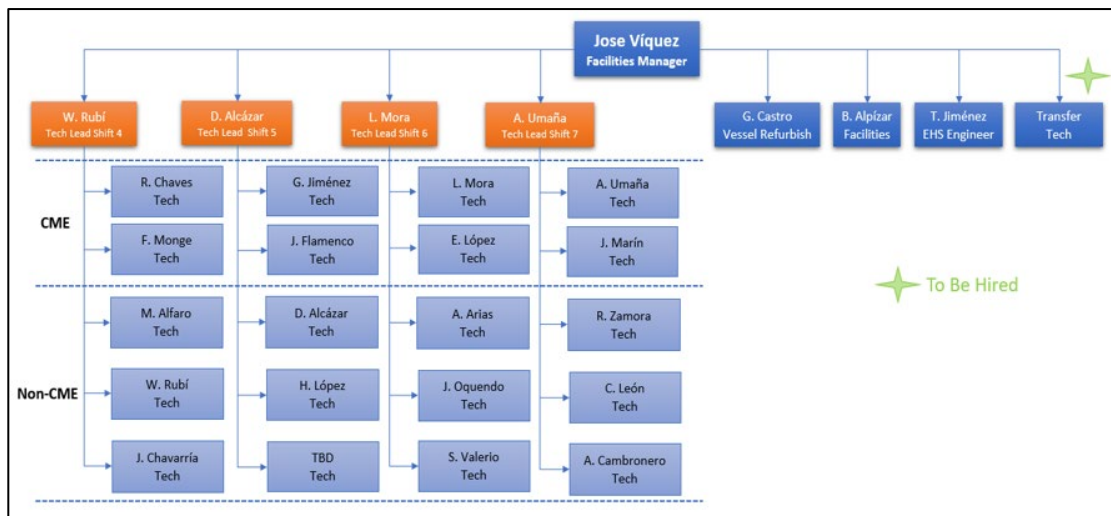


Figura 2 Organigrama departamento de mantenimiento.
Fuente: Elaboración propia.

1.2.2. Antecedentes del Contexto de la Empresa

Fundada en 1987, Resonetics es líder en micro manufactura láser. Han realizado grandes inversiones en tecnología de vanguardia y en el desarrollo de expertos en ablación láser, además de los procesos de *centerless grinding*, electripulido, entre otros. Han instalado más de 500 estaciones de trabajo láser que cubren un amplio espectro de tipos de láser y longitudes de onda, incluyendo femtosegundo, picosegundo, excímero, estado sólido bombeado por diodos (DPSS) y CO₂. La combinación de los sistemas láser avanzados con

un equipo técnico superior permite a Resonetics asociarse con los clientes y proporcionar soluciones innovadoras que cumplan con los requisitos técnicos y económicos.

Resonetics cuenta con 13 localidades en todo el mundo con más de 1,700 empleados. Han ampliado las capacidades para incluir la fabricación por láser de polímeros y metales, la fabricación de componentes de nitinol, la fabricación de metales y la fabricación de tubos de precisión de pared delgada.

La expansión de capacidades y ubicaciones permite a Resonetics servir mejor a la industria de las ciencias de la vida.

Los valores más fuertes de la organización son la innovación, la calidad, urgencia, la integridad, el respeto e inclusión

1.3. Planteamiento del Problema.

La idea del problema

Se ha identificado durante auditorías internas que los mantenimientos preventivos no son completados a tiempo según el procedimiento interno LevII-005 que detalla que mismo se debe ejecutar hasta un límite de 14 días después de la fecha de vencimiento registrada en el sistema de gestión de calidad. De no poderse realizar en este plazo, el PM puede extenderse solicitando una extensión aprobada por el gerente de mantenimiento, quien realiza el análisis de riesgo de ejecutar el PM posterior a los 14 días de prórroga. El Gerente de Mantenimiento expresa que se han ejecutado tarde algunos mantenimientos preventivos, esto ha provocado fallas en las máquinas y producto defectuoso generando pérdidas para la empresa e incremento en los costos por reparaciones y desecho de producto.

1.3.1. Descripción del Problema

El 4% de las tareas de mantenimiento preventivo de equipos de producción fueron ejecutados tarde de enero a agosto del año 2021, esto representa un incumplimiento con el estándar ISO 13485:2016, además esto afecta el tiempo de disponibilidad de las máquinas para producción, la calidad del producto e incrementa los costos por reparaciones en equipos al no ser atendidos a tiempo.

El estándar internacional ISO 13485:2016 menciona en la cláusula 6.3:

La organización documentará los requisitos de la infraestructura necesaria para lograr la conformidad con los requisitos del producto, evitar la confusión del producto y garantizar la manipulación ordenada del producto. La infraestructura incluye, según proceda: a) edificios, espacio de trabajo y servicios públicos asociados; b) equipo de proceso (tanto hardware como software); c) servicios de apoyo (como el transporte, las comunicaciones o los sistemas de información). La organización documentará los requisitos para las actividades de mantenimiento, incluido el intervalo de realización de las actividades de mantenimiento, cuando dichas actividades de mantenimiento, o la falta de ellas, puedan afectar a la calidad del producto. Según proceda, los requisitos se aplicarán a los equipos utilizados en la producción, al control del entorno de trabajo y a la supervisión y medición. Se llevarán registros de dicho mantenimiento. (ISO, 2016).

1.3.2. Justificación del Problema

Es importante la implementación de una solución robusta que permita a Resonetics una gestión efectiva de los mantenimientos preventivos de las máquinas. Los problemas en la gestión de los mantenimientos significan una pérdida aproximada de \$ 373,000 dólares durante el año 2020 y de \$ 277,000 dólares de enero hasta agosto del año 2021 por temas de averías, producto defectuoso y tiempo utilizado en investigaciones para encontrar una

solución. Refiérase la Tabla 1.

Tabla 1 Detalle de costos por mantenimientos ejecutados tarde.

Enero a diciembre del Año 2020				
Descripción de la pérdida	Cantidad de Uds.	Horas	Monto col.	Monto dólares
Producto desechado por averías de máquinas	56,374	No aplica	₪ 14,206,248	\$ 22,549.60
Costo de oportunidad	No aplica	1212	₪ 218,989,008	\$ 347,601.60
Tiempo utilizado Investigaciones	No aplica	180	₪ 1,800,000	\$ 2,857.14
		Total	₪ 234,995,256	\$ 373,008.34
Enero a Agosto del Año 2021				
Descripción de la pérdida	Cantidad de Uds.	Horas	Monto col.	Monto dólares
Producto desechado por averías de máquinas	19,138	No aplica	₪ 7,578,648	\$ 12,029.60
Costo de oportunidad	No aplica	918	₪ 165,867,912	\$ 263,282.40
Tiempo utilizado Investigaciones	No aplica	120	₪ 1,200,000	\$ 1,904.76
		Total	₪ 174,646,560	\$ 277,216.76

Fuente: Elaboración propia.

Los fabricantes de las máquinas y equipos establecen en los manuales de uso los requerimientos de mantenimientos preventivos que deben hacerse periódicamente para garantizar el desempeño adecuado proyectado de la máquina.

Adicional, se han implementado tres acciones correctivas a este problema las cuales han sido inefectivas, por lo que genera la necesidad de una solución más sistemática que elimine el problema de los PM tarde en la empresa Resonetics poniendo en práctica las herramientas adecuadas para la solución del problema.

La solución al problema detectado tiene como principales beneficios para la organización los siguientes:

- Mejora en el control de los mantenimientos preventivo de las máquinas.
- Disminución en las horas de paro por reparaciones de las máquinas.
- Disminución del producto defectuoso provocada por fallas en las máquinas.
- La corrección del problema favorece a la vida útil de la máquina al cumplir con la frecuencia programada de mantenimiento requerido.
- Cumplimiento de la cláusula 6.3 de ISO 13485:2016.

1.4. Objetivos del Proyecto

1.4.1. Objetivo General

Mejorar la gestión de mantenimientos preventivos mediante la construcción de una herramienta en Power BI para la reducción de los tiempos de paro de las máquinas, el producto defectuoso y los costos asociados a estos en las instalaciones de Resonetics Costa Rica en el primer cuatrimestre del año 2021.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar el proceso de gestión de mantenimientos preventivos de la empresa.
- Identificar las causas de los mantenimientos ejecutados tarde en la empresa.
- Proponer las soluciones eliminen las causas del problema.
- Proponer un plan de verificación y control la gestión de mantenimientos preventivos para evitar que se ejecuten tarde en Resonetics.

1.5. Alcances y Limitaciones

1.5.1. Alcance

La mejora en el sistema la gestión de mantenimientos preventivos de las máquinas aplicará para el departamento de facilidades de las instalaciones de Resonetics Costa Rica ubicada en la Zona Franca Coyol de Alajuela.

El proyecto tendrá los siguientes beneficios:

- Prolongación de la vida útil de las máquinas.
- Disminución del producto no conforme por defectos ocasionados por fallas en las máquinas.
- Aumento de la productividad.
- El cumplimiento del requisito del procedimiento interno y la norma ISO 13485 necesarias para la certificación de la calidad del producto que le permitirá la

continuidad de negocio y la exportación de sus productos.

1.5.2. Limitaciones

A continuación, se detalla las limitaciones del proyecto.

No se tendrá acceso a información que comprometa los acuerdos de confidencialidad de los clientes de la empresa, ni información detallada de algunos precios exactos o nombres de productos.

La disposición del tiempo por parte de los empleados para brindar la información estará sujeto de su tiempo laboral y de sus tareas diarias.

A continuación, se detalla las limitaciones encontradas con respecto a la implementación del proyecto:

- Se requiere licencia Power BI Pro para el uso de la herramienta.
- Los montos asociados a salarios y costos son aproximados.
- No se mencionan nombres de los clientes para proteger la confidencialidad de los clientes de la empresa.

Capítulo II. Marco Teórico

2.1. Marco Conceptual General Relativo a la Carrera

2.1.1. Ingeniería Industrial

La Ingeniería Industrial se ocupa del diseño, la mejora y la instalación de sistemas integrados de personas, materiales, información, equipos y energía. Se basa en conocimientos especializados y habilidades en las ciencias matemáticas, físicas y sociales, junto con los principios y métodos de análisis y diseño de Ingeniería, para especificar, predecir y evaluar los resultados que se obtendrán de dichos sistemas.

La **Ingeniería Industrial** es por definición la rama de las ingenierías encargada del análisis, interpretación, comprensión, diseño, programación y control de sistemas productivos y logísticos con miras a gestionar, implementar y establecer estrategias de optimización, con el objetivo de lograr el máximo rendimiento de los procesos de creación de bienes y/o la prestación de servicios. (Salazar, 2019).

El ingeniero industrial tiene como objetivo la resolución de problemas y optimización de procesos mediante el uso de herramientas de ingeniería industrial para el desarrollo de bienes y servicios con el fin de incrementar la productividad, la calidad, la seguridad y el cuidado del medio ambiente, además actuando con la responsabilidad social.

2.1.2. Sistema de Gestión

Un sistema de gestión es una metodología que me ayudará a visualizar y administrar mejor mi empresa, área o procesos bajo mi cargo y, por lo tanto, a lograr mejores resultados a través de acciones y toma de decisiones basadas en datos y hechos. (Gutiérrez, 2017).

2.1.3. Mantenimiento Industrial

En el 2020, Gallará y Pontelli, afirma que:

El mantenimiento industrial tuvo sus orígenes a finales del siglo XIX. Hasta la Primera Guerra Mundial. Las averías en las instalaciones de las fábricas eran reparadas por los mismos operarios de producción puesto que la maquinaria era de una concepción simple y el mantenimiento era considerado una actividad sin relevancia. Con la aparición de la producción seriada implementada por Henry Ford, se hizo necesaria la creación de equipos de operarios que llevaran a cabo reparaciones lo más rápido posible de manera de no entorpecer los programas de producción. Estos grupos estaban subordinados a los mandos de producción y por lo tanto la importancia del mantenimiento como actividad seguía postergada. Naturalmente en este marco la única intervención que cabía era la solicitada por rotura de la maquinaria.

La situación no cambiaría hasta pasada la mitad de la década del 30 ya que, con el advenimiento de la Segunda Guerra Mundial, la industria armamentista, que movía grandes recursos y trabajaba contra el reloj, requería de un servicio de mantenimiento que no solo corrigiera las fallas sino que se anticipara a las mismas. Entonces, los cuadros técnicos encargados de prevenir y solucionar las paradas se constituyeron en una estructura independiente de la producción, ya que se necesitaba un perfil más profesional de su personal. Pasado el conflicto global, alrededor de los 50, los responsables de las áreas de mantenimiento de las industrias, en especial la aeronáutica y la electrónica, que estaban en pleno desarrollo, detectaron que sus equipos técnicos demoraban más tiempo en diagnosticar una falla que en corregirla, esto condujo a la formación de un ente llamado Ingeniería de Mantenimiento, con el objeto de aportar competencia técnica a estos grupos y realizar un mejor análisis de las causas de los

desperfectos, al tiempo que era responsable de la planificación y el control del mantenimiento de prevención. A mencionar la auto- motriz, las grandes obras mecánicas, la industria del mueble, la construcción, los electrodomésticos y electrónica, la matricera, la fundición de partes, los astilleros, los ferrocarriles, maquinaria agrícola y vial. Si analizamos las diferencias en lo que se refiere a las instalaciones de cada una, las de proceso continuo tienen grandes instalaciones fijas en las que generalmente existen redes de conductos y cañerías por donde los productos y subproductos circulan. Son propias de estas industrias los reactores, hornos, intercambiadores de calor, calderas, compresores, bombas, turbinas, tanques y torres de enfriamiento. En estas instalaciones se desarrollan procesos que consumen grandes cantidades de energía y tanto la puesta en marcha como la parada de estos conllevan una gran inercia. Además, a raíz del tipo de instalaciones, estas últimas requieren de poco personal para su operación y tienen el control centralizado de los procesos. Asimismo, los productos de estas industrias en muchos casos pueden ser tóxicos, explosivos, corrosivos, irritantes o contaminantes. Por todo lo anterior se deduce que la tipología de las fallas y por ende las características del servicio de mantenimiento serán distintas. A mediados de los años 60 con la aparición de las computadoras y la mayor complejidad de los instrumentos de medición, las Asociaciones de Mantenimiento establecieron los primeros criterios para un nuevo concepto de mantenimiento basado en el diagnóstico por instrumentos que permite predecir el comportamiento de la maquinaria y cuando esta fallará. (p.11).

El mantenimiento tiene como reto a su eficacia controlar la incertidumbre de no conocer con exactitud cuando es el momento apropiado para intervenir las máquinas o sustituir una pieza o repuesto. Y es cuando surge el mantenimiento predictivo, a partir del conocer el estado del equipo.

Podemos concluir que entre los objetivos principales del proceso de gestión de mantenimiento son:

1) Prevenir los paros de maquinaria que podrían provocar pérdidas en la productividad de un proceso de manufactura o servicio.

2) Gestionar en forma eficiente el proceso de mantenimientos mediante la conformación de una gestión dinámica del mantenimiento dentro del cual la recolección de información, la evaluación de las situaciones y las acciones que se deban tomar requieran de una administración calificada.

2.1.4. Mantenimiento Preventivo

Continuando en la línea de la historia del mantenimiento, se encuentra el tipo de mantenimiento llamado preventivo cuyo concepto data de 1945 durante la segunda guerra mundial donde nace la necesidad de hacer revisiones continuas de los aviones para evitar que estos fallaran. Se comienzan a realizar análisis de la vida útil que tiene cada pieza y de esta forma poder proyectar cuando este podría fallar, lo que se conoció como mantenimiento preventivo.

En cuanto al concepto del mantenimiento preventivo también conocido como TBM (*Time Based Maintenance*), los autores Gallará y Pontelli (2020) lo describen de la siguiente forma:

“Es una metodología de intervención partiendo de la definición de los puntos críticos de los equipos a fin de minimizar los tiempos de paradas o de bajo rendimiento de estos. Esta forma de mantenimiento se basa en la planificación, construcción de estándares y en revisiones sistemáticas con el fin de detectar señales de mal funcionamiento. La determinación de los lugares neurálgicos de control tiene su origen en la ingeniería de mantenimiento. Está sobre la base de recomendaciones del fabricante del equipo expresadas en forma directa en el momento de la instalación o bien recabada a partir de los manuales, como así

también la experiencia adquirida por el personal en el desarrollo de su tarea profesional o la recibida a partir de una capacitación específica, determina un mapa de control de los equipos. Con estos elementos se confeccionan los estándares, es decir los procedimientos que establecen que es lo que se debe hacer, como efectuarlo y la frecuencia de las inspecciones en cada medio. Este tipo de mantenimiento requiere un soporte informático donde se cargarán los datos de los equipos y sus criticidades como así también los registros de las intervenciones y toda información adicional a cerca de los mismos, que servirá como historial. Este medio permite realizar la planificación de las tareas, asignando recursos humanos, materiales y tiempos de ejecución. La tarea, en síntesis, consiste en la realización de rutinas periódicas de inspección en los puntos mencionados, efectuando pequeños ajustes y relevando las novedades para conformar una posible intervención al detectar anomalías. Estas rutinas desplegadas a lo largo del tiempo serán cumplidas por operarios especializados si las tareas son de cierta complejidad o pueden ser realizadas por operarios de producción si son más simples” (p.17).

2.1.5. *Business intelligence (BI)*

El término anglosajón de ***Business intelligence (BI)*** ha sido muy difundido y es comúnmente utilizado en las organizaciones. La traducción más habitual es la de “Inteligencia de Negocio”. BI tiene como objetivo principal apoyar de forma sostenible y continua a las organizaciones para mejorar su competitividad, facilitando la información necesaria para la toma de decisiones.

Según Conessa Caralt y Curto Díaz (2013), “Se entiende por *Business intelligence* al conjunto de metodologías, aplicaciones, prácticas y capacidades enfocadas a la creación y administración de información que permite tomar mejores decisiones a los usuarios de una organización. (p.19)

Para comprender en otras palabras, la *inteligencia de negocios* es la habilidad de transformar los datos en información, y dicha información en conocimiento, de manera que se pueda optimizar el proceso de la toma de decisiones en los negocios de cualquier organización. (García Pérez, 2020).

BI es un apoyo primordial para la toma de decisiones y, posteriormente, para descubrir cosas que hasta ahora se desconocían. Proporciona beneficios tangibles, cómo, por ejemplo, reducción de costes, generación de ingresos, reducción de tiempos para las distintas actividades del negocio. También, brinda beneficios intangibles, los cuales se enmarcan en el hecho de que se cuente con información disponible para la toma de decisiones, lo cual conduce directamente a los beneficios tangibles si se toman las decisiones acertadas.

En un artículo publicado por la Universidad Privada Boliviana muestran la relevancia de contar con un Dashboard inteligentes como herramienta intuitiva, transformando las reglas de negocios en reglas de asociación difusas con sus respectivos KPI. Existen herramientas que son softwares diseñados para ETL, para gestionar el almacén de datos (*datawarehouse*) y las aplicaciones para visualizar y analizar (*visualization*)(Cerdeira-Leiva et al., 2020).

2.1.6. Power BI

Con base en la experiencia en proyectos de *Business intelligence*, Microsoft creó una colección de servicios de software, aplicaciones y conectores denominada Power BI, la cual permite convertir orígenes de distintos tipos de datos no relacionados en un modelo coherente, listo para visualizar y descubrir detalles analíticos.

Mediante el uso de metodologías y tecnologías BI, como Microsoft Power BI, se pretende convertir datos en información organizada de forma visual, con el fin de que se propicie el análisis y la toma de decisiones. Por tanto, la definición de Inteligencia de

Negocio se puede sintetizar como se muestra en la siguiente figura:

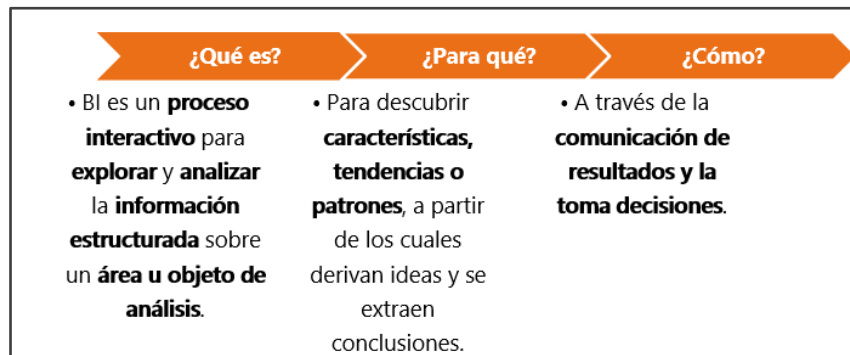


Figura 3 Proceso de Inteligencia de Negocio.

Fuente: Elaboración propia

Power BI es sencillo y rápido. Posibilita la obtención de mucha información, desde hojas de Excel, bases de datos o cualquier otro proveedor disponible. Es una herramienta robusta y de grado empresarial. Está listo para modelado extensivo y analítico en tiempo real y para la programación de usuarios. Con base en lo anterior, Power BI puede ser el motor que impulse la toma de decisiones dentro de una organización.

2.1.6.1. Las Partes de Power BI

Power BI consta de:

1. Power BI Desktop que se instala en el escritorio.
2. El Servicio Power BI, el cual se trata de un software como servicio denominado SaaS (siglas en inglés para “Software As Service”), el cual permite compartir informes y crear visualizaciones y paneles.
3. Por último, las aplicaciones móviles de Power BI para dispositivos Windows, iOS y Android. Con ellas es ver e interactuar con los cuadros de mando o dashboards desarrollados. (Admin Inteligencia, 2021). Ver Figura 4.

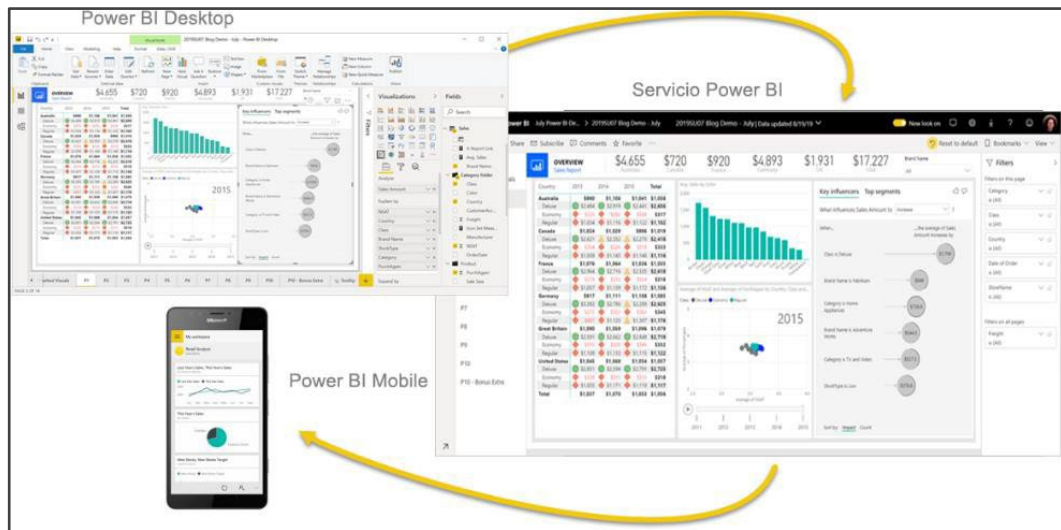


Figura 4 Partes de Power BI.

Fuente: recuperado de <https://inteligencia.dds.pe/power-bi/power-bi/>

2.1.6.2. Inicio y Exploración de la Interfaz de Usuario

Como se muestra en la Figura 5, es necesario iniciar y explorar la interfaz de usuario desde Power BI Desktop y su servicio en línea.

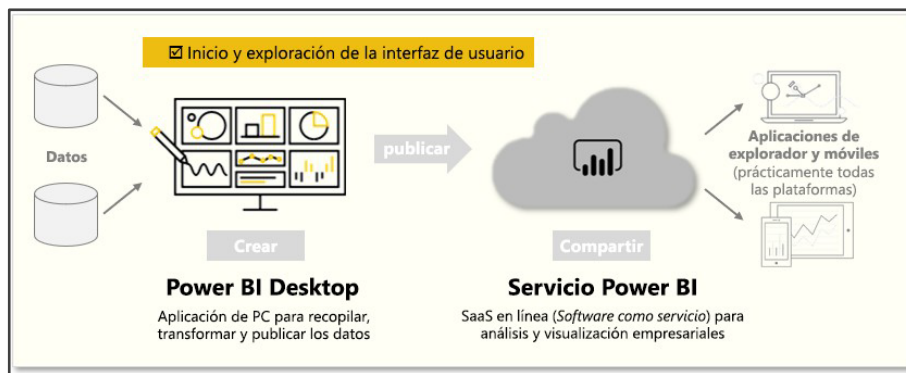


Figura 5 Interfaz de usuario Power BI

<https://www.seguridadjabali.com/2020/04/los-nuevos-escenarios.html>

2.1.6.3. Partes de Power BI Desktop

Power BI desktop cuenta con las siguientes partes:

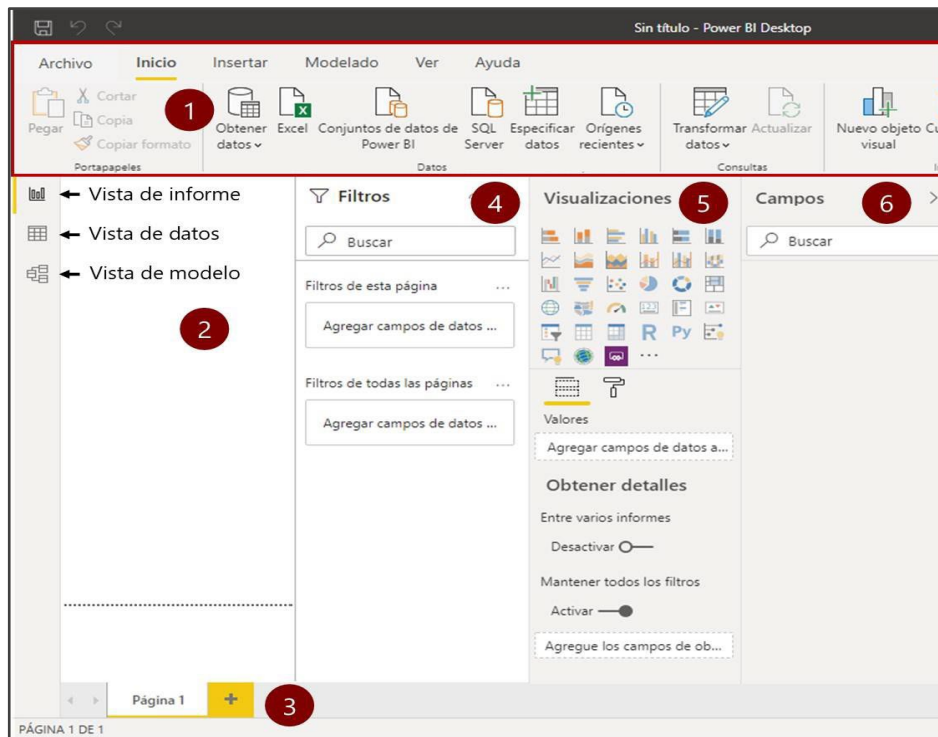


Figura 6 Partes de interfaz Power BI desktop
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6 se muestran las partes de la interfaz, se detallan a continuación las distintas funciones:

1. Cinta de Opciones: muestra las tareas comunes asociadas con los informes y las visualizaciones.
2. Vista Informe o Lienzo: donde se crean y se organizan las visualizaciones. Para cambiar entre las vistas Informe, Datos y Modelo, seleccione los iconos de la columna izquierda.
3. Pestaña Páginas: ubicada en la parte inferior de la página, en esta área se selecciona o agrega una página de Informe.
4. Panel de Filtrado: mediante el cual se ocultan todos los datos excepto aquellos en los que desea centrarse.
5. Panel de Visualizaciones: donde puede cambiar las visualizaciones, personalizar los colores o ejes, aplicar filtros, arrastrar campos, etc.
6. Panel Campos: donde los filtros y los elementos de consulta se pueden arrastrar a la vista Informe o al área Filtros del panel Visualizaciones.

2.2.7.1 Editor de Power Query

Power Query permite buscar orígenes de datos, realizar conexiones y transformarlos según sus necesidades. Por ejemplo, quitar una columna, cambiar un tipo de datos o combinar tablas, entre otros. El Editor Power Query está compuesto por las siguientes secciones:

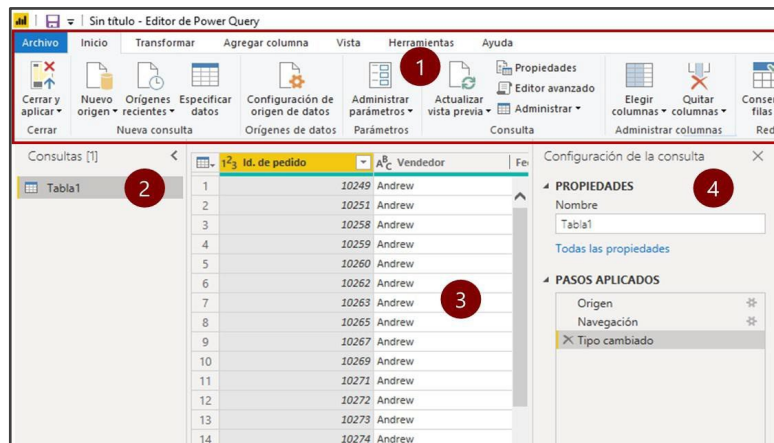


Figura 7 Partes de Power Query

Fuente: Elaboración propia

1. En la Cinta de Opciones, los botones activos le permiten interactuar con los datos de la consulta.
2. En el Panel de la Izquierda, se muestran las consultas (una para cada tabla o entidad) y están disponibles para seleccionarlas, verlas y darles forma.
3. En el Panel del Control, se muestran los datos de la consulta seleccionada que ya están disponibles para darles forma.
4. La ventana Configuración de la Consulta muestra las propiedades de la consulta y los pasos aplicados.

2.2. Marco Conceptual Atinente a la Gestión del Proyecto

2.2.1. Seis Sigma

Es una metodología aplicada para mejora de los procesos utilizada para aumentar la eficiencia de estos, analizando la variabilidad y buscando la mejor solución para el

problema en estudio basada en los datos recopilados.

2.2.2. Metodología DMAIC

DMAIC fue desarrollada inicialmente por Motorola a principios de los 90's siendo empleada en proyectos six sigma para mejorar la calidad de los procesos. El objetivo es conocer y resolver las diferentes causas que ocasionan los defectos a través de las etapas ya definidas. El nombre DMAIC proviene de las siglas de las iniciales de cada etapa en inglés y que cada Etapa es esencial para que el proyecto six sigma sea un éxito. La diferencia esencial entre el ciclo PDCA y el ciclo DMAIC radica en que mientras el ciclo PDCA en sus Etapas P (plan) y D (do) define lo QUÉ hay que hacer, el ciclo DMAIC define además de lo QUÉ hay que hacer, el CÓMO lo hacemos. (Rodríguez, 2019).

Figura 8 los objetivos de cada Etapa y las distintas herramientas que pueden utilizarse en cada una de ellas:

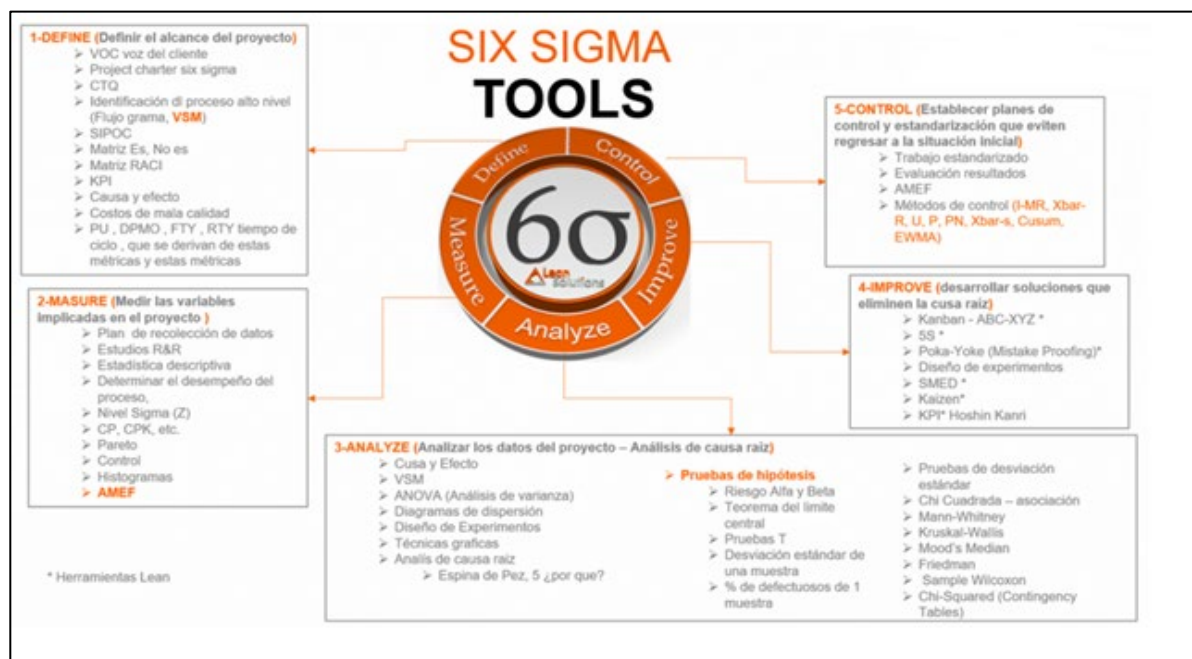


Figura 8 Herramientas del Ciclo DMAIC

Fuente: recuperado de: <https://leansolutions.co/conceptos-lean/que-es-six-sigma/>

2.2.3. Definir

En esta Etapa se define el problema y como este afecta al cliente o a la empresa. Se define el objetivo final y el alcance que se necesitará para lograrlo. Esta etapa ayuda a comprender el proceso en su totalidad y qué elementos son críticos para la calidad, también conocidos como “CTQ”. Las entradas y salidas se suelen trazar con un diagrama SIPOC, que es una sigla en inglés que significa proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes. Esta información se suele plasmar en un documento de definición de un proyecto, que establece la forma el proceso DMAIC,

Hay algunos pasos que debe seguir en esta Etapa son los siguientes:

- Definir el problema en términos cuantificables y la gravedad del problema.
- Establecer un objetivo basada en la declaración de problema. Debe ser un objetivo medible y con plazos para alcanzar.
- Crear un diagrama SIPOC que proporcionará una visión general del proceso (junto con sus entradas, salidas, proveedores y clientes) que se está analizando. También puede usar una la herramienta llamada It Is-Is Not para una correcta definición del problema.

2.2.3.1 Matriz It is/Is Not o Es /No es

Es importante tener claro el problema a la hora de buscar la solución. Es muy común que, durante una investigación o proyecto, el equipo se desvíe perdiendo de vista la verdadera causa raíz o enfocar los esfuerzos en el problema y soluciones incorrectas.

El análisis “Es/No es” una herramienta práctica que tiene como objetivo documentar las condiciones que existen y no existen cuando ocurre un problema. La herramienta busca hacer pensar en lo que es y lo que no es parte del problema por lo que ayuda a crear un enfoque en la atención y, en consecuencia, del problema correcto.

Uno de los puntos clave que un límite poco claro pueda llevar a desviarse del camino y resolver problemas sin importancia.

2.2.3.2 Diagrama S.I.P.O.C

Esta es una herramienta que vincula los procesos y sus iteraciones de extremo a extremo dentro de la organización. Por medio del diagrama SIPOC se puede observar cómo las salidas de un proceso se convierten en la entrada de otro.

En La siguiente Figura se muestra un ejemplo de un diagrama SIPOC:

S	I	P	O	C
Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
¿Quién suministra lo que se necesita para ejecutar el proceso?	¿Cuáles son los insumos requeridos?	¿Qué hace el proceso?	¿Cuál es el resultado esperado del proceso?	¿Qué clientes necesitan la salida de este proceso?
Ejemplo:				
Departamento de finanzas de sucursales.	Ordenes de compras. Facturas.	Paso 1 Paso 2 Paso 3	Reportes financieros	Departamento financiero corporativo

Figura 9 Diagrama SIPOC

Fuente: recuperado de <http://rincondelsueko.blogspot.com/2019/06/la-herramienta-pespc-o-sipoc.html>

2.2.4. Medir (Measure)

Esta etapa busca medir el alcance del problema. Se debe examinar el proceso en su estado actual para observar cómo se encuentra. Las mediciones de línea base que se examinan en esta etapa, son la duración del proceso, el número de defectos, costos y otras métricas relevantes. Estas mediciones de línea base se utilizarán como los estándares contra los que el equipo medirá su éxito en la Etapa de "Mejorar".

Algunas herramientas que puede usar son las siguientes:

- Mapa de procesos para registrar las actividades realizadas como parte de un proceso.
- Análisis de capacidad para evaluar la capacidad de un proceso para cumplir con las especificaciones.
- Gráfico de Pareto para analizar la frecuencia de problemas o causas.
- Histogramas, gráficos de ejecución, etc. para representar datos numéricos.

2.2.4.1 Diagrama de Flujo.

Un diagrama de flujo es una representación gráfica de un proceso mediante una simbología que brinda una guía desde inicio a fin de un proceso.

A continuación, se muestra la Figura 10 y Figura 11 la estructura de un diagrama de flujo.

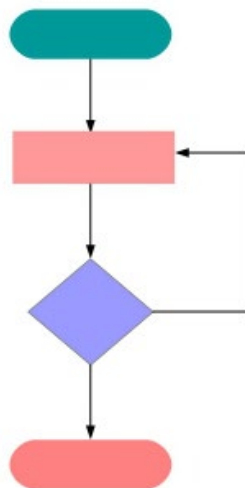


Figura 10 Diagrama de Flujo.

Fuente: recuperado de: <http://www.economia.ws/diagrama-de-flujo.php>

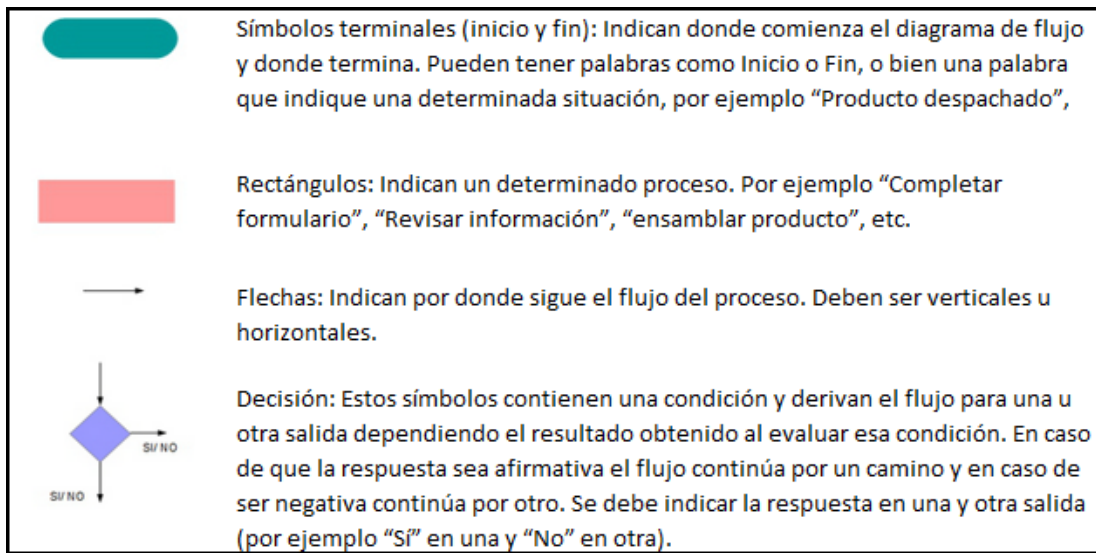


Figura 11 Símbolos comunes de un diagrama de flujo.

Fuente: recuperado de: <http://www.economia.ws/diagrama-de-flujo.php>

2.2.5. Analizar (Analyze)

El objetivo de esta etapa es identificar la causa raíz que está causando el problema identificado en la etapa de definir.

Se pueden identificar áreas, procesos o actividades afectadas mediante un análisis del mapeo de procesos, diagramas de flujo utilizados en la Etapa medir y luego utilizar herramientas como el análisis causa raíz, ensayos de hipótesis, Anova, AMEF, Diagrama Causa y efecto, entre otros.

2.2.5.1 Diagrama causa y efecto

El diagrama causa efecto, conocido también con dos los nombres de diagrama espina de pescado, diagrama de pescado o diagrama de Ishikawa.

Es muy útil para trabajos en equipo y en situaciones en las que se tienen pocos datos cuantitativos disponibles.

El autores Socconini y Reato, (2019) describen el proceso de un diagrama de causa – efecto conocido como también como Ishikawa de la siguiente manera:

- 1 Se define el efecto del problema (en el caso anterior, llegar tarde al trabajo)
- 2 Se lleva a cabo una tormenta de ideas (brainstorm) con un equipo multidisciplinario para cada una de las «espinas» (equipo, proceso, personas, materiales, medio ambiente y gestión para una posible causa raíz).
- 3 Hay que ser específicos y tener la mente abierta. Nunca hay que buscar a la persona que causó el problema.
- 4 Tras la lluvia de ideas, se agrupan las causas potenciales.
- 5 Se comprueba la validez de cada causa raíz. ¿Cuál es la probabilidad de que sea la causa principal del problema o de la variación?
- 6 Después de excluir todas las causas no probables, se mantienen aquellas que convenga revisar.
- 7 Las causas deben investigarse más a fondo, por lo que se crea un plan de acción para acciones correctivas y preventivas.
- 8 Después de implementar un plan CAPA (*corrective-preventive action plan*, «plan de acción preventiva y correctiva») se comprueba que el problema se ha solucionado y el procedimiento puede darse por terminado.

La siguiente Figura muestra la estructura de un diagrama de causa y efecto:

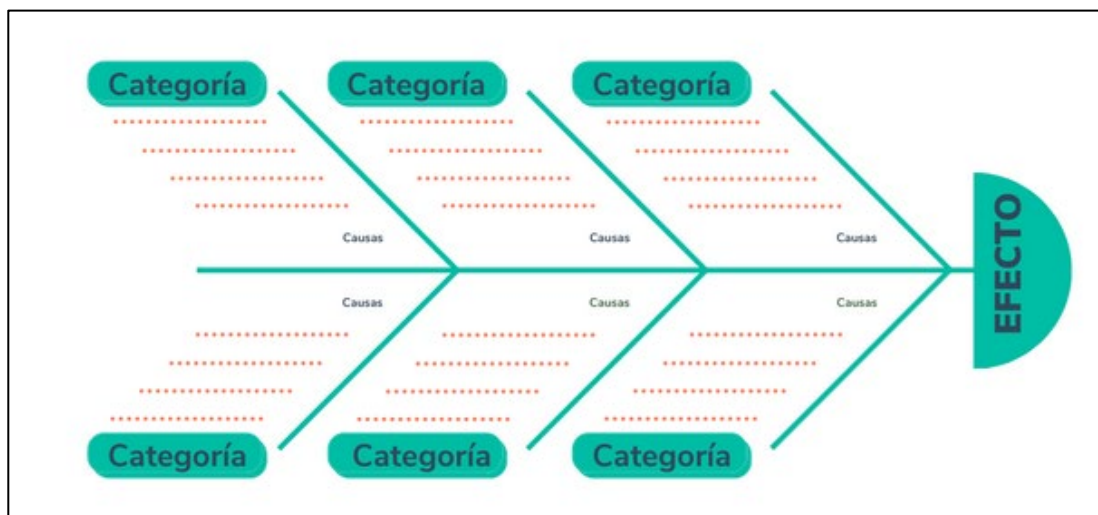


Figura 12 Diagrama causa y efecto

Fuente: recuperado de <https://www.nicepng.com/maxp/u2e6r5o0a9w7q8i1/>

2.2.5.2 Matriz de descarte o confrontación

La matriz de descarte o confrontación es una herramienta utilizada para enlistar todas las causas identificadas en el diagrama causa y efecto para confirmar o descartar cada una de las causas.

2.2.7.1 Los 5 Porqués

El 5 porqué es una herramienta muy útil en las técnicas de resolución de problemas para identificar las causas y factores contribuyentes. El objetivo de esta herramienta es llegar a las causas más profundas, es muy útil para llegar a la causa raíz del problema. Consiste en preguntar el porqué de cada situación presentada como causa.

2.2.7.1 Matriz multicriterio

La matriz multicriterio es una herramienta cuyo objetivo es evaluar las distintas opiniones y criterio experto dando una puntuación para objetivar la decisión.

2.2.6. Mejorar (Improve)

El objetivo de esta etapa es plantear las soluciones a implementar que ayuden mitigar la causa raíz y los factores contribuyentes identificados mediante una lluvia de ideas. Una vez implementadas las acciones se recopilan los datos para medir la mejora y compararlos con los datos recolectados durante la etapa de Medir.

2.2.7. Controlar (Control)

En la etapa de controlar del método DMAIC, el objetivo es en mantener las mejoras que ha obtenido mediante la implementación de las soluciones. Aquí debe seguir midiendo el éxito y crear un plan para supervisar las mejoras (un plan de supervisión).

También debe crear un plan de respuesta que incluya los pasos a seguir si hay una caída

en el rendimiento del proceso. Con nuevos mapas de procesos y otra documentación, se deben documentar los procesos mejorados.

En esta etapa se deben entregar estos documentos junto con el plan de monitoreo y el plan de respuesta a los propietarios del proceso para su referencia.

2.3. Marco Conceptual Referente al Impacto del Proyecto

Con el desarrollo de las distintas Etapas de este proyecto de acuerdo con la metodología DMAIC generará un impacto a corto, mediano y largo plazo en cuánto a la gestión del mantenimiento en Resonetics.

Según el autor Boero (2020) “el costo de mantenimiento fluctúa entre el 5 y 10% del costo total del producto”. Este costo tiene la característica que puede incrementar o disminuir dependiendo de la gestión y no es un costo recuperable.

El proyecto tiene su enfoque en el cumplimiento a tiempo de los mantenimientos preventivos para evitar los costos por fallas en las máquinas que generará una reducción de los costos por averías de los equipos debido a la gestión, producto defectuoso y fallas en programación de los mantenimientos preventivos de las máquinas.

El autor Boero (2020) Los aspectos que se consideran en los costos por fallas son los siguientes:

- Pérdidas de materias primas.
- Disminución de la productividad.
- Pérdidas energéticas por falta o mala reparación: Eléctricas, fugas de vapor, térmicas, etc.
- Rechazos por falta de calidad.
- Pérdida de producción por paradas.
- Impacto al medio ambiente.

- Accidentes.
- Reparaciones.
- Incumplimiento de regulaciones que podría comprometer la credibilidad de los clientes.

El desarrollo de este proyecto busca mejorar la gestión y control de los mantenimientos preventivos en Resonetics. Esto impactará directamente los costos asociados a mantenimiento por reparaciones y producto defectuoso.

2.3. Antecedentes de Proyectos o Experiencias Semejantes

Se han realizado investigaciones anteriormente relacionados con temas gestión del mantenimiento donde se ha empleado la herramienta DMAIC

Se presentó una propuesta para optar por el grado académico de bachillerato en ingeniería industrial con el objetivo de optimar la atención de los mantenimientos preventivos de la flotilla vehicular del área de Almacenamiento y Distribución de la CCSS, mediante la metodología DMAIC, donde se establecieron las propuestas para el cumplimiento de las métricas relacionadas a entregas que establece la institución, este proyecto estimó un ahorro de ₡1,218,132,474.60 de colones (Monge, 2020).

En el proyecto del autor Quesada (2019), logra identificar que no estaban establecidos los tiempos de mantenimiento preventivo de las máquinas de electroposición del departamento de Plating, la propuesta consistió en un estandarizar el proceso de mantenimiento preventivo para las máquinas Strip Line para disminuir el tiempo de mantenimiento y aumentar la disponibilidad para producción con el diseño de la propuesta se estimó un ahorro de \$46,626 anuales utilizando la metodología DMAIC.

Los datos anteriormente mencionados sustentan las que la herramienta DMAIC es útil en el desarrollo de propuestas de soluciones que permitan resolver los problemas con éxito.

Capítulo III: Marco Metodológico

3.1. Metodología para la Definición del Problema.

En esta etapa se presentó la metodología utilizada para definir el problema en estudio. En la Tabla 2 se presenta las herramientas utilizadas para el desarrollo de esta etapa:

Tabla 2 Herramientas utilizadas en la etapa para Definir.

PRIMERA ETAPA		
Definir	SIPOC	Este diagrama se presentó con el fin de ilustrar las interacciones del proceso con otros departamentos.
	Es No es	Se utilizó esta herramienta para delimitar el problema y alcance de este proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un diagrama SIPOC del proceso de programación de Mantenimientos. La información es recolectada mediante la lectura de los procedimientos y entrevista a la gerente del departamento. Se detalla la estructura en la Tabla 3.

Tabla 3 Diagrama SIPOC del proceso de Gestión de Mantenimientos preventivos.

S	I	P	O	C
Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
		Paso 1.		
		Paso 2.		
		Paso 3.		
		Paso 4.		
		Paso 5.		
		Paso 6.		
		Paso 7.		

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó la matriz Es / No es, completada mediante recolección de datos del sistema y entrevistas al personal del departamento de mantenimiento y la gerente del área.

Tabla 4. Matriz Es No / No es

Matriz Es / No es		
Declaración inicial del problema	1.	
Miembros del equipo:	2.	
Es/No es	Es (Observación)	No Es (Comparación)
¿Cuál es el Producto o Proceso afectado?	3.	
¿Cuál es el defecto o desviación?	4.	
¿Quién es afectado?	5.	
¿Dónde en el Proceso?	6.	
¿Desde Cuándo se ha presentado el problema?	7.	
¿Cuál es el patrón con el tiempo?	8.	
¿Cómo afecta?	9.	
Definición del problema	10.	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la numeración de la Tabla 4 se destalla una breve descripción de los datos ingresados en cada una de las filas:

1. En este espacio se colocó la declaración inicial del problema.
2. Se ingresó el nombre de todo el equipo de trabajo que participó en esta la Etapa de definición.

3. En la columna “es” se ingresó cuál fue el proceso impactado y en la columna “No es” se detalla cuales otros procesos no son afectados con este problema.
4. Se detalló la sección que se incumple comparada contra el estándar internacional ISO 13485:2016 y los procedimientos internos.
5. Se detalló quién es la responsable y los afectados por el problema.
6. Se describió en que parte del proceso se dio el problema.
7. Se mencionó cuando fue visto por primera vez el problema.
8. Se analizó si existe un patrón en el tiempo.
9. Se hace una breve descripción de cuál es el impacto a nivel de la organización con la existencia de este problema.
10. Se hace una definición del problema con toda la información recopilada desde el punto 1 al punto 9.

3.2. Metodología para la Medición y Respaldo Cualitativo del Proyecto.

Durante la etapa de medir se recopiló información mediante sesiones con el personal del área de mantenimientos con el fin de medir la magnitud del problema, se detalla en la siguiente tabla las herramientas utilizadas:

Tabla 5 Herramientas utilizadas en etapa Medir.

SEGUNDA ETAPA		
Medir	Diagrama de Flujo	Se realizó la secuencia e interacción de las actividades que del proceso de gestión de los mantenimientos preventivos.
	Medición de indicadores	Se midió estado el que se completaron las tareas de mantenimiento. Se midió el tiempo utilizado en reparaciones de las máquinas por mes del año 2021.

Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Diagrama de flujo

La elaboración del diagrama de flujo se realizó mediante la observación y entrevista al encargado de realizar los mantenimientos preventivos de la empresa que se detallan en la Figura 13 creado en el software Visio.

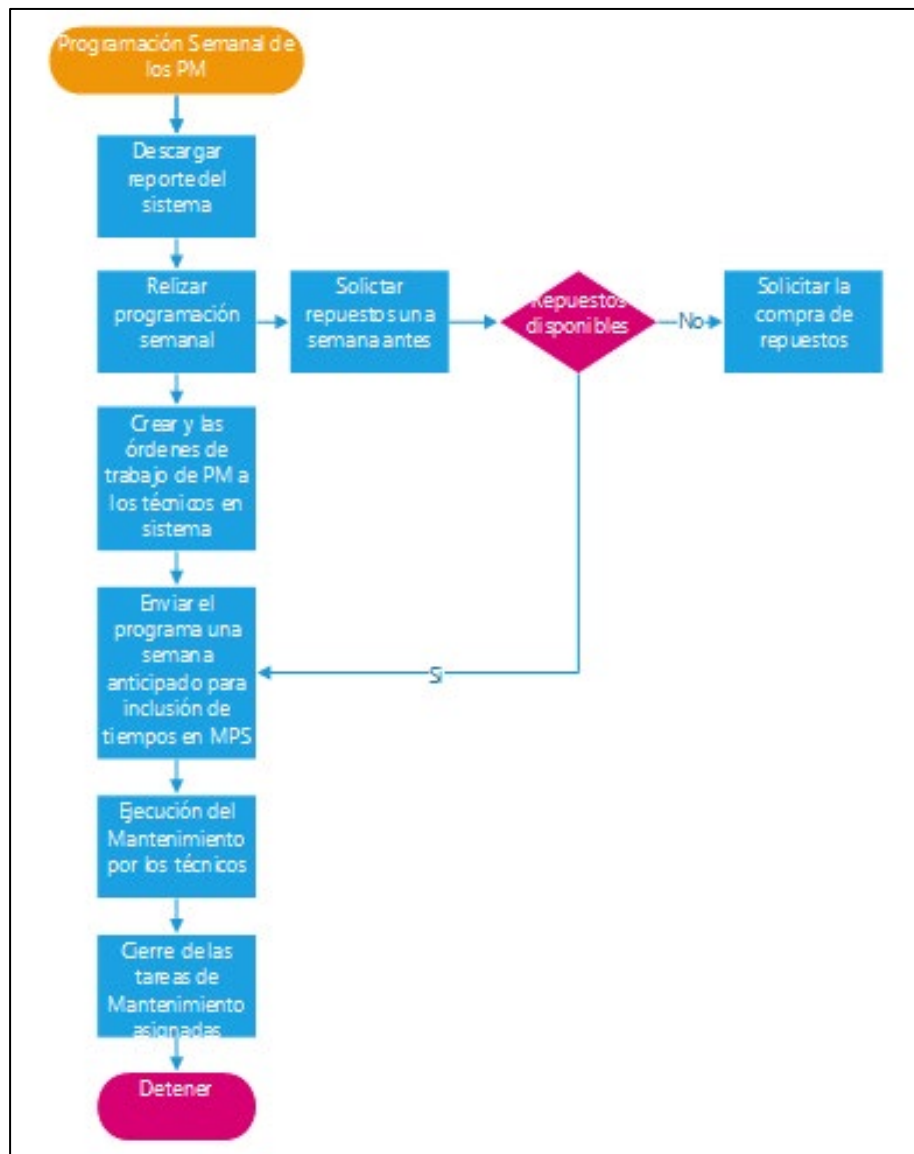


Figura 13 Diagrama de Flujo de programación de PM en Resonetics.

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Medición de indicadores

Estado de las tareas de mantenimiento: Se extrajo reporte de cada tarea de mantenimiento preventivo y correctivo del sistema desde el enero del año 2020 hasta agosto del año 2021 para medir el estado en que fueron completadas cada una y de esta manera cuantificar cantidad y porcentaje de las siguientes categorías:

- A tiempo
- Durante prórroga de 14 días
- Tarde

Para graficar el estado de los mantenimientos realizados desde enero del año 2020 hasta agosto del año 2021 se elaboró un cuadro resumen para contabilizar los mantenimientos y el estado en que por mes que se obtienen de la base de datos de QCBD. Se detalla la estructura del cuadro de recolección de datos a continuación:

Tabla 6 Cuadro de recolección de cantidad de PMs tarde por mes.

Mes	A tiempo	Prórroga (14 días)	Tarde	Total
Jan				
Feb				
Mar				
Apr				
May				
Jun				
Jul				
Aug				
Sep				
Oct				
Nov				
Dec				
Total				

Fuente: Elaboración propia

Tiempo de reparaciones: Se extrajo reporte del sistema las órdenes de trabajo ejecutadas por mantenimiento correctivo aplicado a las máquinas. Se realiza un gráfico lineal para comprar los tiempos por mantenimientos correctivos desde del año 2020 contra los primeros 8 meses del año 2021.

3.3. Metodología para la Propuesta de Mejora Construcción Puesta en Práctica de un Nuevo Proceso, Producto o Servicio.

Durante la etapa de analizar se recopiló información en dos sesiones de una hora respectivamente donde se utilizó la técnica de lluvia de ideas y entrevistas aplicadas al personal del área de mantenimientos y gerente del área con el fin de realizar el análisis causa raíz.

Se detalla en la siguiente Tabla 7 las herramientas utilizadas:

Tabla 7 Metodología utilizada en etapa de análisis

TERCERA ETAPA		
Analizar	Diagrama Causa y efecto	Se enlistaron las causas potenciales mediante lluvia de ideas en un diagrama Ishikawa, esto se logró en una sesión con el equipo de trabajo del área de mantenimiento.
	Matriz de descarte y 5 Why	Mediante observación, entrevistas aplicando la técnica de los 5 porqué a los encargados y personal involucrado en la gestión de los mantenimientos preventivos, se obtiene la evidencia para confirmar o descartar las causas potenciales identificadas en el diagrama de causa y efecto.
	Matriz multicriterio	Se organizó una sesión para ponderar las causas confirmadas tomando en cuenta la opinión del gerente del departamento de facilidades y mantenimientos, el encargado de programación y tres técnicos de mantenimiento de turno 4, 5 y 6 respectivamente. De esta forma se definió la causa raíz.

Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Diagrama Causa y efecto

Se realizó un diagrama de causa y efecto mediante una lluvia de ideas a través de una sesión de con el equipo de trabajo que se compone de 5 miembros, el gerente del departamento de mantenimiento, el encargado del área y tres técnicos encargados de ejecutar los mantenimientos. Se consideraron las categorías máquina, método, personal, entrenamiento, medio ambiente y medición.

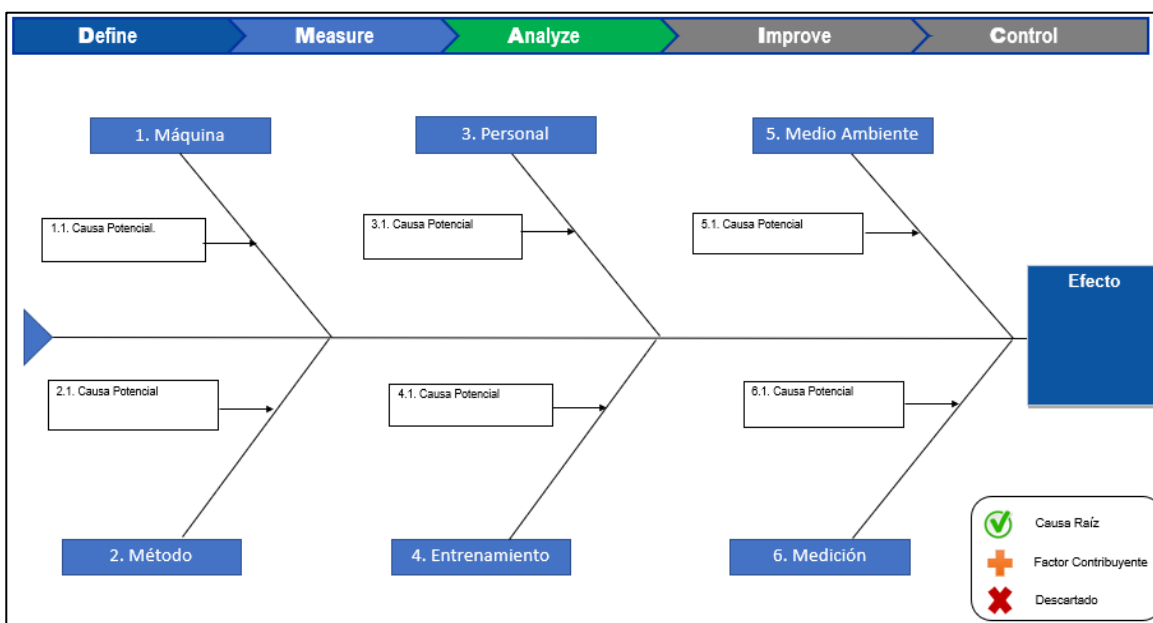


Figura 14 Diagrama causa y efecto.

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Matriz de descarte y los 5 porqué

Luego de realizar la lluvia de ideas en el diagrama causa y efecto se enlistaron las causas potenciales y se aplicó la técnica de los 5 porqué para llegar a las causas primarias luego se procedió a descartarlas o a confirmarlas por medio de la evidencia objetiva que se describe en la cuarta columna de la Tabla 8.

Tabla 8 Ejemplo de Matriz de descarte y 5 porqué.

Categoría	5 porqué?	Respuesta a los 5 Porqué	¿Existe evidencia que es una causa potencial? Justificación
1. Máquina	Causa Potencial 1.1:		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
2. Método	Causa Potencial 2.1:		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
3. Personal	Causa Potencial 3.1:		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
4. Entrenamiento	Causa Potencial 4.1:		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
5. Medio Ambiente	Causa Potencial 5.1:		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
6. Medición	Causa Potencial 6.1:		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		
	¿Porqué?		

Fuente: elaboración propia

3.3.3. Matriz Multicriterio

Las causas potenciales identificadas diagrama causa raíz y confirmadas mediante la matriz de descarte y los 5 porqué se sometieron a votación para definir el paso de cada una para hacer una ponderación. Para esto, se realiza una sesión de voto múltiple con cinco participantes, el gerente de mantenimientos, el programador de mantenimientos y tres técnicos del departamento del turno 4, 5 y 6 respectivamente.

Se consideró el criterio experto de los participantes y se definió una escala de 1 a 5 para definir la criticidad de cada causa confirmada, la pregunta que se aplicó fue ¿Considera usted que esta es la causa raíz origina el problema? El objetivo principal de esta metodología es tomar en cuenta la opinión y el criterio de todas las partes en los distintos niveles y llegar a un consenso en cuanto a la decisión a tomar.

Tabla 9 Criterio de valoración

Criterio	
1	No es crítico
2	Es poco crítico
3	Crítico
4	Muy crítico
5	Extremadamente crítico

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 10 se detalla la estructura definida para la matriz multicriterio. Se acordó una sesión en la que se entrevista a cada miembro del equipo seleccionado para conocer la valoración en cuanto a las causas potenciales identificadas en una sesión previa y de esta manera asignar un peso en cuanto a las causas definidas, esto a través de su experiencia y otorgando la escala de acuerdo con la Tabla 9, esto permite priorizar las soluciones para resolver el problema identificado en la gestión del mantenimiento de la empresa Resonetics a S.A.

Tabla 10 Matriz multicriterio.

Categoría	Descripción causas confirmadas	Gerente de PM	Programador de PM	Técnico PM T4	Técnico PM T5	Técnico PM T6	Puntos Totales	Ponderación
1. Máquina	Causa confirmada							
2. Método	Causa confirmada							
3. Personal	Causa confirmada							
4. Entrenamiento	Causa confirmada							
5. Medio Ambiente	Causa confirmada							
6. Medición	Causa confirmada							

Fuente: elaboración propia

Para definir la causa raíz y los factores contribuyentes, se utilizó el diagrama de Pareto donde se estableció que el 20% de causas que ocasionan el 80% del problema correspondía a la causa raíz del problema y el 80% de las causas que ocasionan el 20% del problema se establecieron como los factores contribuyentes.

3.4. Metodología para la Implementación del Proyecto

Luego del análisis de las causas que ocasionan el problema, se reunió al equipo de trabajo en dos sesiones de una hora para definir las soluciones a cada una de las causas. Se utilizó el ciclo de Deming para determinar la propuesta de mejora del proyecto.

Se detalla en la Tabla 11 los pasos seguidos durante la etapa mejorar.

Tabla 11 Herramientas utilizadas en etapa de Mejora

CUARTA ETAPA		
Mejorar	Planear	Se presentó el detalle de las acciones a implementar para atacar la causa raíz y los factores contribuyentes del problema.
	Análisis Costo beneficio	Se presentó una tabla comparativa del análisis costo beneficio de la propuesta.
	Diseño de la propuesta	Se realizó un prototipo de la herramienta diseñada en Microsoft Power BI.
	Hacer	Se presenta un Diagrama de Gantt para determinar el plan de implementación de los entregables del proyecto.

Fuente: elaboración propia

Se presentó al gerente el plan de acciones con las fechas de entrega propuestas en un diagrama de Gantt, el análisis costo beneficio de la propuesta de mejora.

Para el diseño de la herramienta en Power BI, se hizo la conexión de la base de datos a power BI a través del SQL server para cargar las tablas. Se invirtieron 8 horas durante el mes de agosto del prototipo.

3.5. Metodología para la Verificación, Aseguramiento, Control y Seguimiento de Resultados.

Se presentó una tabla con las acciones propuestas para la etapa de verificación, control, y seguimiento.

Tabla 12 Herramientas propuestas para la etapa de Control

CUARTA ETAPA		
Controlar	Verificar	Se presentó propuesta de verificación de los entregables, aseguramiento, control y seguimiento de los resultados.
	Actuar	Se presentó la propuesta de análisis de los resultados antes y después del periodo de verificación de la propuesta.

Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV: Línea Base y Análisis de Causas

4.1 Situación Actual de la empresa

4.1.1 Etapa de Definición

En la etapa de Definir de la metodología DMAIC se utilizó la matriz es/no es de definir el problema y el alcance del proyecto y un diagrama SIPOC para describir las actividades de la gestión del mantenimiento.

4.1.2 Matriz Es No Es

La información detallada en la etapa definir se recolecta por medio de sesiones con el gerente del departamento de mantenimiento donde se realizan las preguntas mostradas en la Tabla 13 :

Tabla 13 Resultados Matriz Es / No Es.

Matriz Es / No Es Definición del problema		
Declaración inicial del problema	Se encuentran 3 máquinas con mantenimientos tarde en el sistema de gestión de calidad durante una auditoría Interna 2019.	
Miembros del equipo:	Wendy Molina, Ana Ulloa, Jose Víquez, Javier Flamenco.	
Es/No es	Es (Observación)	No Es (Comparación)
¿Cuál es el Producto o Proceso afectado?	Yield en producto del cliente A y B.	N/A
¿Cuál es el defecto o desviación?	Defectos visuales y de dimensión por fallos de máquina.	Material desechado por problemas de trazabilidad.
¿Quién es afectado o responsable?	Área de Mantenimiento	Otras áreas de la compañía
¿Dónde en el Proceso?	Líneas de producción cliente A y B.	En otras gestiones de equipos que no requieren mantenimiento en el sistema
¿Desde Cuándo se ha presentado el problema?	Desde el Año 2017	Antes del 2017
¿Cuál es el patrón con el tiempo?	Se han abierto 5 CAPAs en el sistema que fueron inefectivos en desde el año 2018 hasta el 2021	No hay patrones similares en otros procesos de la empresa.
¿Cómo afecta?	Afecta en el cumplimiento del ISO 13485 necesaria para la exportación de los productos. La vida útil de las máquinas, problemas de calidad y el output de las líneas de producción	No afecta otros requisitos regulatorios
Definición del problema	Se encuentran 3 máquinas con mantenimientos ejecutados tarde en el sistema de gestión de calidad durante una auditoría Interna de 2019 esto afecta los tiempos de disponibilidad de las máquinas, la calidad del producto y el incumplimiento con el estándar internacional ISO 13485:2016	

Fuente: elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior, el problema se ha presentado desde el año 2018 al 2021, se define el problema de la siguiente forma: Se encuentran 3 órdenes tarde de mantenimiento preventivo durante auditoría interna 2019 que incumple con el estándar internacional ISO 13485:2016 y el procedimiento interno LevII-005 Rev. C que describe que los mantenimientos deben completarse a tiempo o con extensión justificada. El incumplimiento de este requerimiento podría afectar la vida útil de las máquinas y contribuir con fallas en los equipos comprometiendo la calidad y tiempo de entrega del producto.

4.1.3 Diagrama SIPOC

Se elabora un diagrama de SIPOC que se describe a continuación:

Tabla 14 Resultados Diagrama SIPOC.

S	I	P	O	C
Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Cientes
Departamento de Bodega	-Tareas creadas en sistema -Repuestos	Gestión de Mantenimientos	-Programa semanal de Mantenimientos Preventivos.	Departamento de Planning y Producción
		Ingreso a QCBD		
		Ingreso a módulo administración de Equipos		
		Realizar filtros respectivos		
		Descargar reporte		
		Hacer filtros y Asignar las fechas de programación del PM en Excel		
		Crear las WO y asignar las tareas a los técnicos		
		Enviar el programa a Planning		

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 14, se desarrolla un diagrama SIPOC, se identifican como los proveedores en la gestión el departamento de Bodega, quienes proveen los repuestos e materiales necesarios para el proceso de gestión de los mantenimientos en la empresa

Como entradas del proceso en estudio, se identifica la creación de las tareas y sus respectivas frecuencias por cada máquina, esto lo realiza el ingeniero de manufactura o de calidad y los repuestos requeridos para cada mantenimiento que son solicitados por el encargado de la programación.

El proceso de gestión de los mantenimientos preventivos y correctivos en la empresa se detalla en la [Figura 10](#). El proceso consiste en la programación semanal de los mantenimientos preventivos que es realizado por un técnico encargado, quien realiza una descarga de un reporte en Excel que se obtiene del software utilizado para la gestión y lo utiliza para realizar la programación. Seguidamente, crea las órdenes de trabajo y las asigna a cada técnico de mantenimiento del departamento, luego envía un correo con este reporte para solicitar los tiempos al encargado de hacer el plan de producción semanal (Departamento de Planning), por último, los técnicos ejecutan los mantenimientos asignados de acuerdo con la programación y por último cierra la tarea en el sistema, el sistema actualiza la fecha de acuerdo con la fecha de ejecución de las tareas de mantenimiento e indica cuál será la próxima fecha de mantenimiento.

El plan de programación semanal es la salida del proceso de gestión de los mantenimientos preventivos a los departamentos de Planning y Producción que son los clientes internos del proceso.

4.1.4 Etapa de Medición

En la etapa de Medir de la metodología DMAIC se utilizan las siguientes herramientas con el fin de medir la magnitud del problema:

- Diagrama de flujo.
- Análisis del estado las tareas de mantenimiento ejecutadas desde enero del año

2020 hasta agosto del año 2021.

- Medición de Tiempos de reparaciones en las máquinas desde enero del año 2020 hasta agosto del año 2021.

4.1.5 Diagrama de Flujo

En el diagrama de la Figura 15 se describe el diagrama de flujo de la gestión de programación de los mantenimientos preventivos en Resonetics S.A. La programación de los mantenimientos se realiza semanalmente descargando el reporte en formato Excel del sistema para poder obtener fechas próximas de vencimiento y poder programar el tiempo que es incluido en el MPS semanal. Esta actividad tarda alrededor de 4 horas, se contempla durante la programación la solicitud de los repuestos a utilizar al departamento de *supply chain*.

Se detalla a continuación cada paso del diagrama de flujo del proceso de programación:

1. El encargado de programar los PM ingresa al software donde se encuentra la base de datos de los equipos que contiene el último PM realizado del equipo, la fecha del siguiente PM de acuerdo con la frecuencia del equipo.
2. Luego debe ingresar al módulo de administración de equipos y seleccionar la opción de: Reporte de mantenimientos preventivos.
3. Se procede a colocar los filtros de los equipos a vencer del mes correspondiente.
4. El encargado descarga el reporte en la ubicación de la red de la empresa.
5. Luego debe realizar un análisis para unir mantenimientos cuyas frecuencias pueden ejecutarse al mismo tiempo, además hace una inspección de los repuestos que se requieren para la semana siguiente, y asigna los tiempos de cada PM a ejecutar.
6. El programador procede a crear las órdenes de trabajo en el sistema que se asignan a cada técnico.
7. Se envía el programa al departamento de Planning quien recolecta los datos de los tiempos para incluirlos en el programa de producción como tiempos programados de mantenimiento preventivo por máquina.

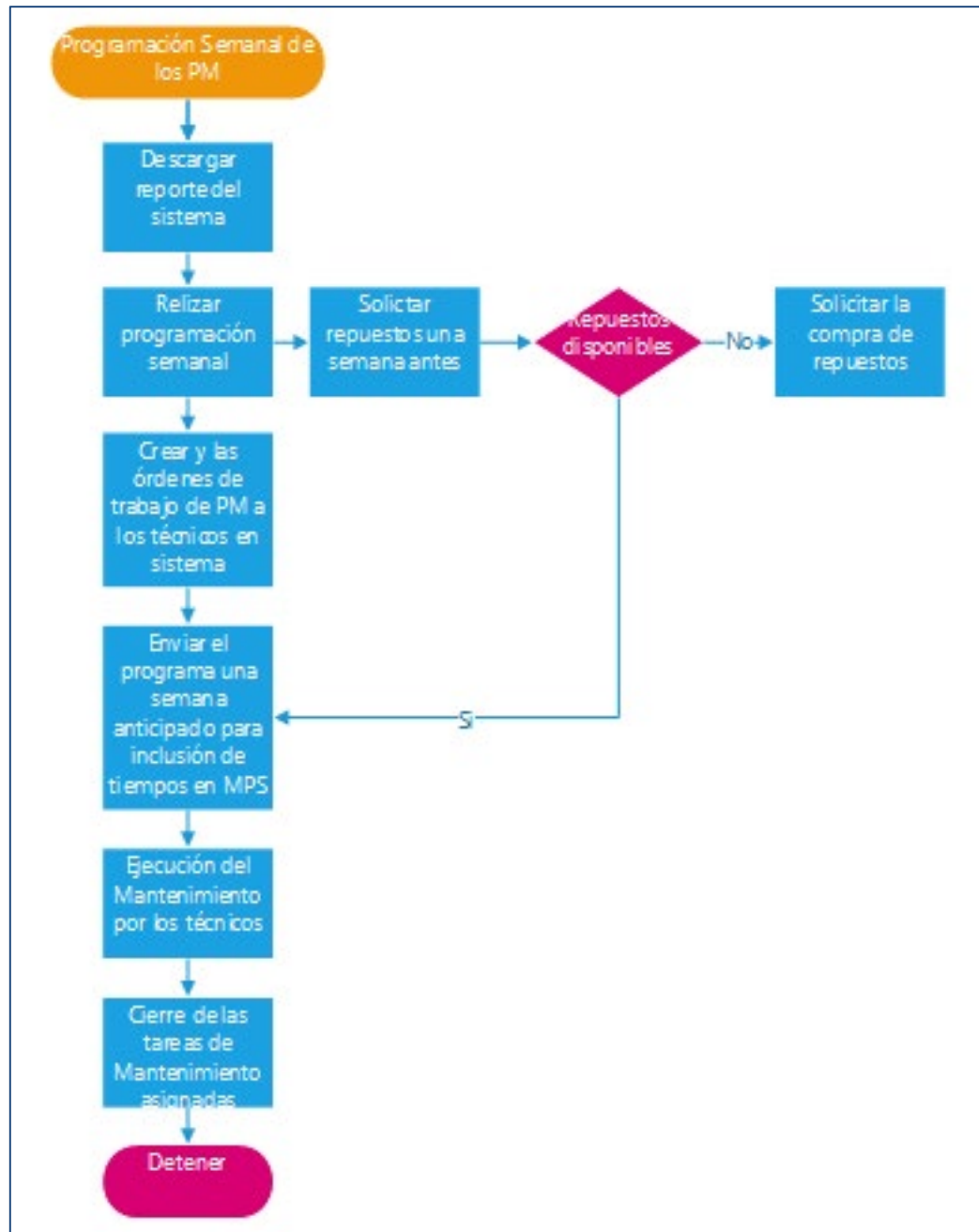


Figura 15 Diagrama de Flujo. Proceso de Gestión de los PM.
Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar la cantidad de mantenimientos se hace una descarga del reporte de mantenimientos preventivos donde se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 15 Reporte del total de tareas de PM totales del año 2020.

Mes	A tiempo	Prórroga (14 días)	Tarde	Total
Jan	83	190	0	273
Feb	189	176	23	388
Mar	105	203	0	308
Apr	49	183	46	278
May	69	230	20	319
Jun	124	239	23	386
Jul	99	247	2	348
Aug	136	197	47	380
Sep	54	399	34	487
Oct	113	305	51	469
Nov	6	401	8	415
Dec	26	415	23	464
Total	1053	3185	277	4515

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 15 muestra el reporte total del estatus de las PMs del año 2020. Se ejecutaron un total de 4515 mantenimientos de los cuales 1053 se ejecutaron a tiempo, 3815 se ejecutaron entre los 14 días de prórroga y 277 mantenimientos se ejecutaron tarde.

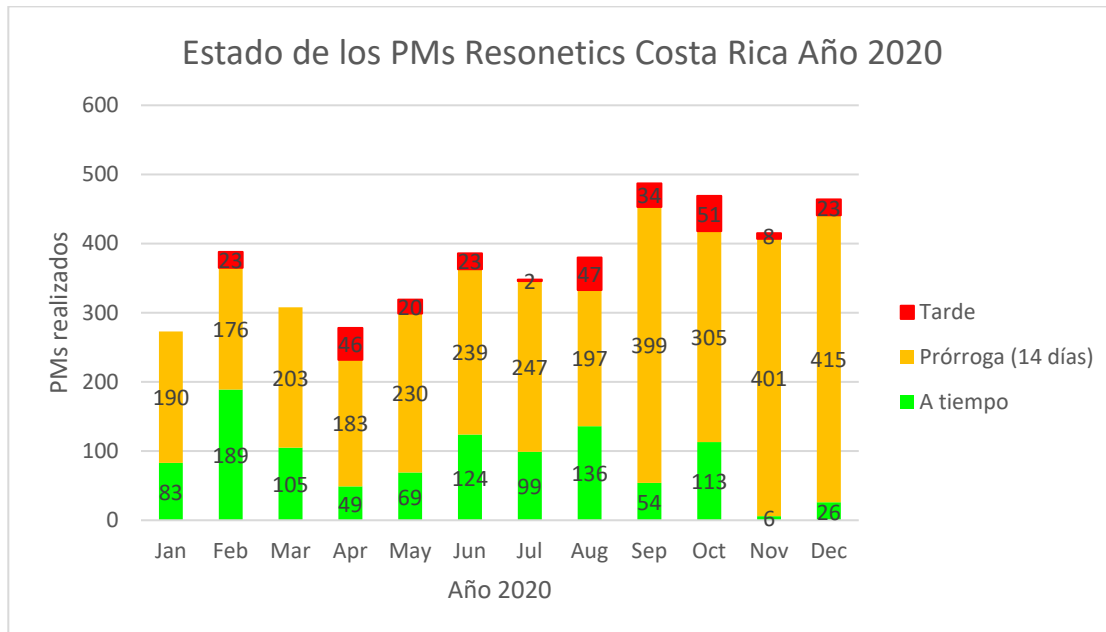


Figura 16 Gráfico del estado de los PM del año 2020.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 17 Gráfico del porcentaje del estado de los PM del año 2020.

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de la Figura 17, se aprecia que el 71% de los mantenimientos que se ejecutaron dentro del tiempo de prórroga 14 días, el 23% se ejecutaron a tiempo y el 6% ejecutaron tarde durante el año 2020.

A continuación, se detallan los mantenimientos de enero a hasta agosto de año 2021:

Tabla 16 Reporte del total de mantenimientos preventivos desde enero hasta agosto del 2021.

Mes	A tiempo	Prórroga (14 días)	Tarde	Total
Jan	73	337	30	440
Feb	121	370	31	522
Mar	103	418	3	524
Apr	56	374	73	503
May	77	415	27	519
Jun	297	413	0	710
Jul	186	342	22	550
Aug	270	418	3	691
Total	1183	3087	189	4459

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 16, muestra el reporte total del estatus de las PM desde enero hasta agosto del año 2021. Se ejecutaron un total de 4459 tareas de mantenimientos preventivos de los cuales 1183 se ejecutaron a tiempo, 3087 se ejecutaron entre los 14 días de prórroga y 189 mantenimientos se ejecutaron tarde.

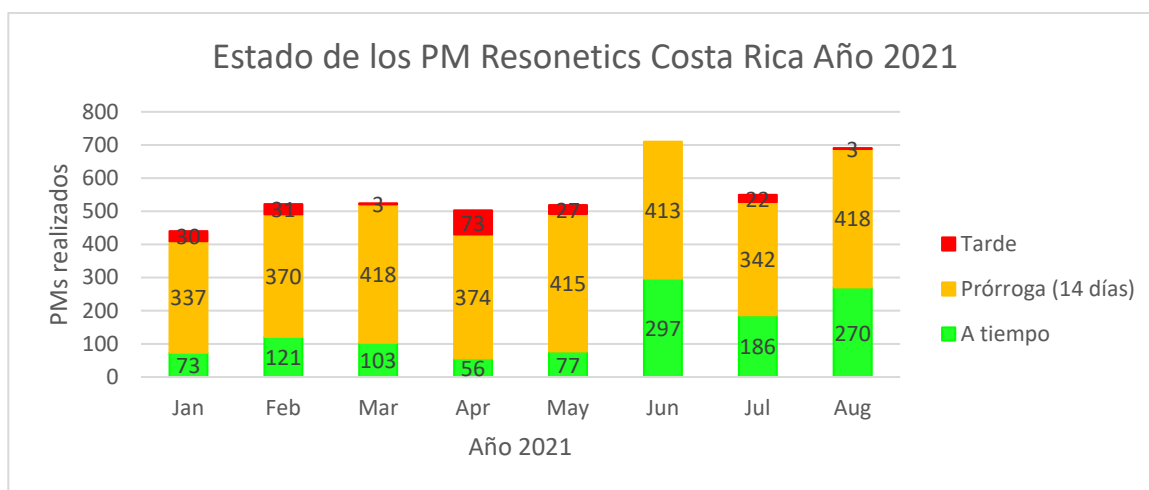


Figura 18 Gráfico de barras del estado de las tareas de PM, año 2021.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 18 muestra un gráfico de barras del que permite comparar el estado de los PM del año 2021 según la fecha completada de cada tarea.



Figura 19 Porcentaje de tareas de PM según estado, Año 2021.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de la Figura 19, se aprecia que el 66% de los mantenimientos que se ejecutaron dentro del tiempo de prórroga 14 días, el 60% se ejecutaron a tiempo y el 4% ejecutaron tarde.

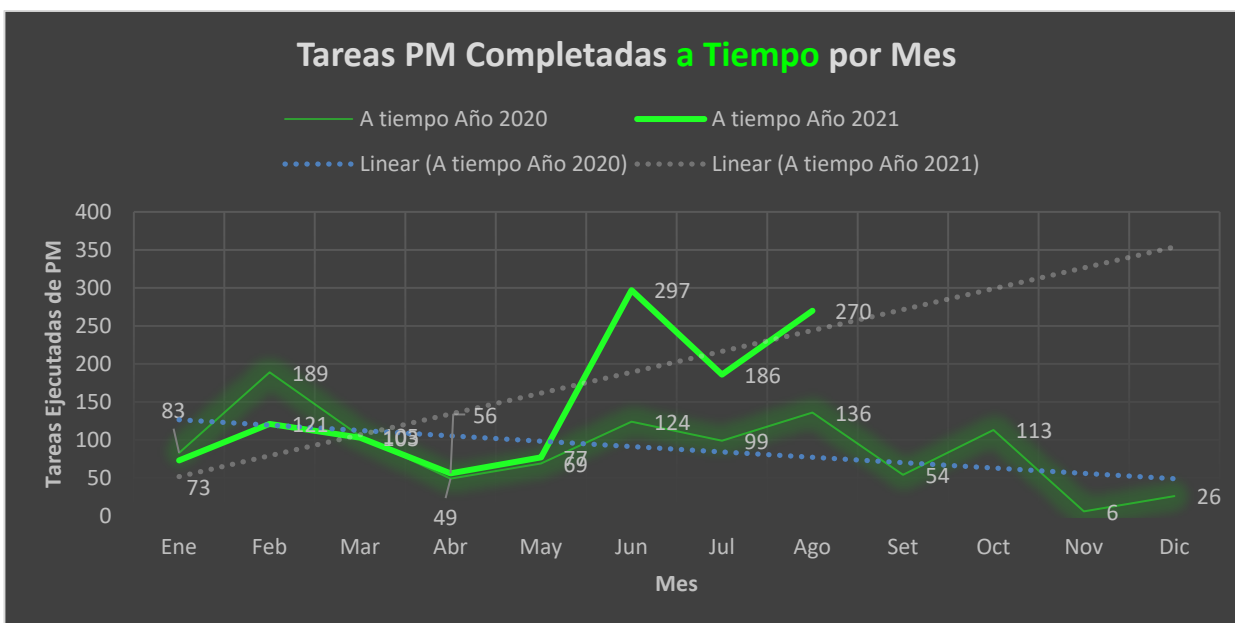


Figura 20 Tendencia los PM completados a tiempo, Año 2020 y 2021.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 20 muestra la comparación de las tendencias de los mantenimientos preventivos realizados a tiempo en el año 2020 versus los ejecutados a tiempo en los dos primeros cuatrimestres del año y se observa una tendencia positiva de las tareas completadas a tiempo, esto obedece a las acciones de contención realizadas durante el primer semestre del año 2021.

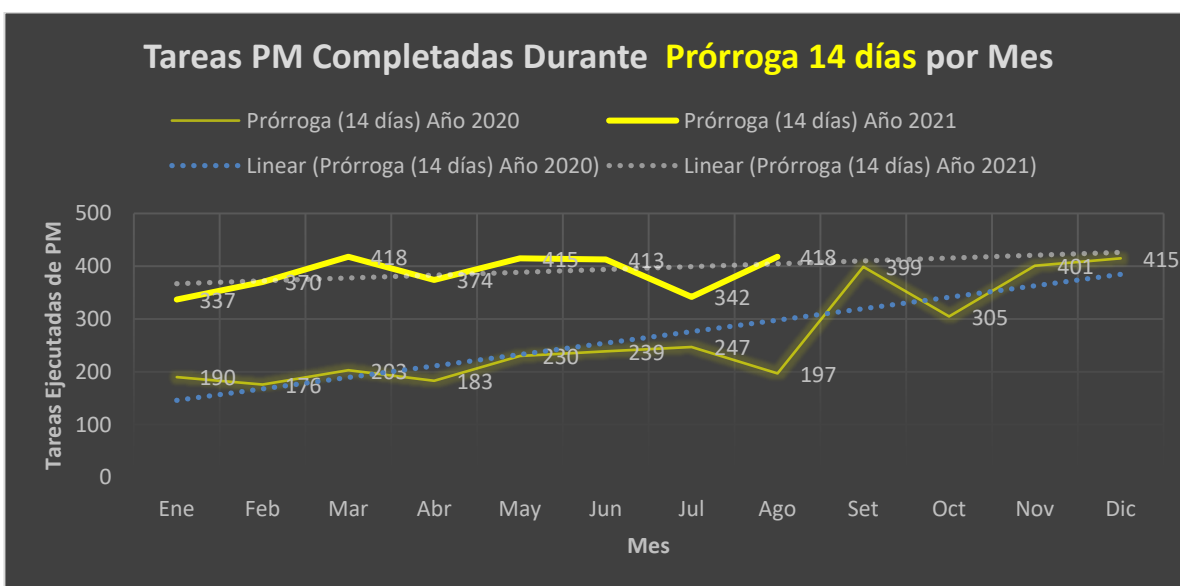


Figura 21 Tendencia de los PM completados a tiempo, Año 2020 y 2021.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 21 muestra la comparación de las tendencias de los mantenimientos

preventivos realizados durante el tiempo de prórroga de 14 días en el año 2020 versus primeros dos cuatrimestres del año 2021 y se observa que la tendencia es positiva tanto para año 2020 como para el 2021, sin embargo la pendiente es menor para el año 2021, esto se debe a las acciones de contención que se realizaron en el año en 2021.

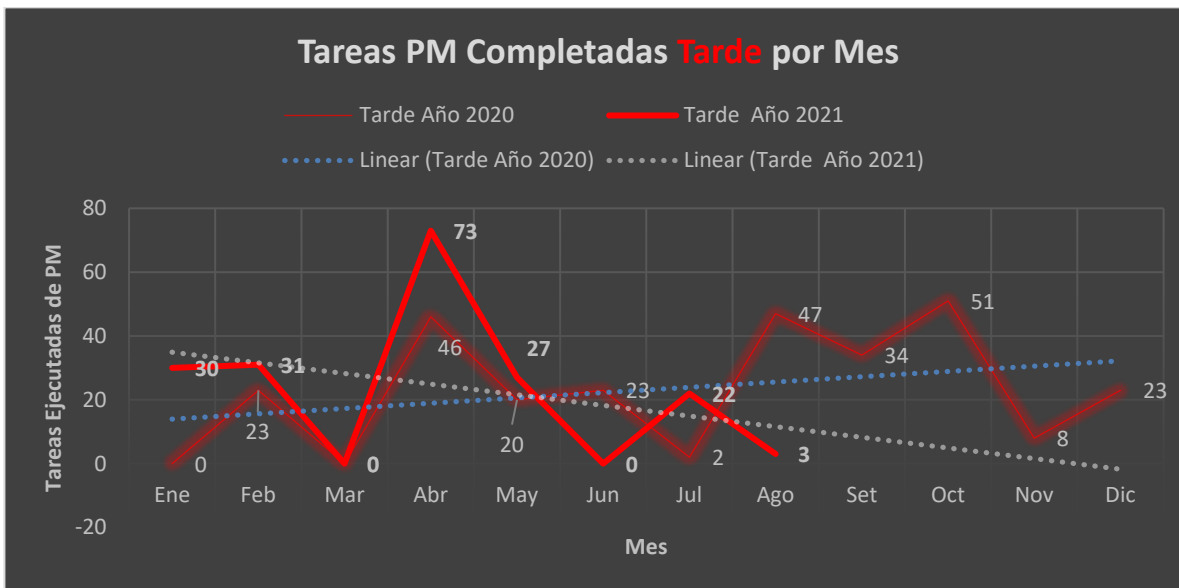


Figura 22 Tendencia los PM completados a tiempo Año 2020 y 2021

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Figura 22 que la tendencia de las tareas ejecutadas tarde para el año 2020 es positiva. En los meses de marzo a abril del año 2021 se contabilizaron 73 tareas completadas tarde; la más alta en los últimos 2 años, esto se debió a que el encargado de programar los mantenimientos renunció en el mes de marzo y no existió un *passdown* correcto hacia el encargado de la gestión de los mantenimientos que quedaba a cargo. No obstante luego de implementadas las acciones de contención en el mes de abril, se logra apreciar una tendencia a la baja para las tareas ejecutadas tarde, sin embargo en julio y agosto del año 2021 se siguieron contabilizando tareas tarde.

Seguidamente, se hace una medición de los mantenimientos correctivos realizados en el año 2020 y 2021 para obtener el total de horas hombre invertidas en las reparaciones de las máquinas. Se presenta en la Tabla 17 los resultados:

Tabla 17 Reporte horas mensuales por mantenimientos correctivos en el año 2020 y 2021.

Mes	Horas por correctivos Año 2020	Horas por correctivos Año 2021
Ene	61	49
Feb	84	82
Mar	156	98
Abr	77	64
May	110	81
Jun	73	130
Jul	128	100
Ago	68	105
Set	143	Por definir
Oct	181	Por definir
Nov	97	Por definir
Dic	33	Por definir
Total	1212	709

Fuente: Elaboración propia.



Figura 23 Tendencia horas utilizadas en reparaciones en el Año 2020 y 2021

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 23 se observa que la tendencia en positivo en las horas por reparaciones incrementa en año 2021 con respecto al año 2020.

4.1.6 Etapa de Análisis

Para la etapa de análisis se utilizan diagrama Causa y efecto, matriz de descarte y la matriz multicriterio y diagrama Pareto para definir la causa raíz y factores contribuyentes cuya información es obtenida los durante las sesiones con el equipo de trabajo.

4.1.7 Diagrama de causa y efecto

Se procede a realizar un diagrama causa y efecto a través de una lluvia de ideas, para ello se organiza una sesión donde los integrantes del departamento de mantenimiento de la empresa participan para lograr captar todas las ideas de las posibles causas del problema sin descartar ninguna, ya que esto se hará mediante la matriz de descarte y 5 porqué. Se analizan las categorías: máquina, método, personal, entrenamiento, medio ambiente y medición. No se identificaron causas en las categorías, medio ambiente y medición. Los resultados se muestran en la siguiente figura:

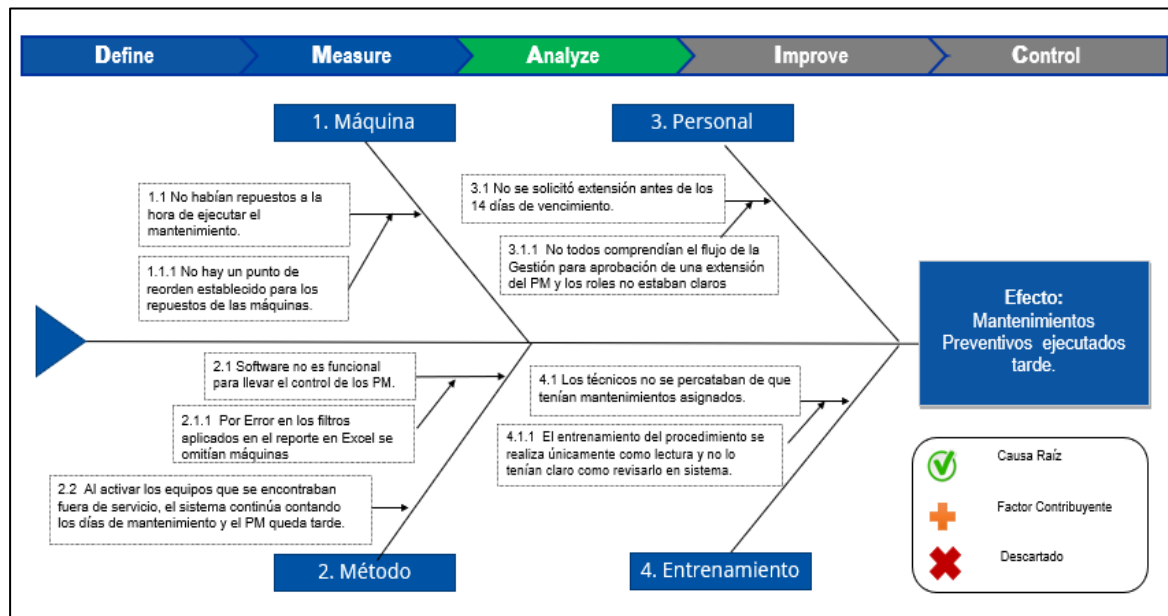


Figura 24 Diagrama Causa- Efecto aplicada.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.8 Matriz de descarte y los 5 porqué

Luego de realizado en diagrama de causa y aplicó la herramienta de la matriz de descarte para confirmar o descartar las causas potenciales. Los resultados se detallan en la Tabla 18:

Tabla 18 Matriz de descarte y 5 porqué aplicada

Categoría	Nivel	5 ¿Porqué?	¿Es una causa potencial? Justifique:
1. Máquina	Causa Potencial 1.1:	No habían repuestos a la hora de ejecutar el mantenimiento.	
	¿Porqué?	Porque no se lleva el control del inventario en el sistema.	Sí, por medio de entrevista con el programador y revisión de programas del año 2020 se encontró evidencia de 5 ocasiones en las que no estaban los repuestos a tiempo a la hora de ejecutar el PM.
	¿Porqué?	1.1.1 Porque no hay un punto de reorden establecido para los repuestos de las máquinas.	
2. Método	Causa Potencial 2.1:	Software no es funcional para llevar el control de los Mantenimientos Preventivos.	
	¿Porqué?	El encargado de programar semanalmente los MP indica que software es un poco complejo de utilizar. Tarda alrededor de 4 horas realizando la programación.	Sí, re revisaron detalladamente los programas y se hallaron errores de filtración durante programación que provocaron que los MP quedaran tarde en el sistema de acuerdo con la entrevista realizada al encargado de la programación.
	¿Porqué?	Porque debe realizar varios filtros.	
	¿Porqué?	Es única forma de revisarlos detalladamente es haciendo los filtros en el software y descargando un reporte en Excel.	
	¿Porqué?	2.1.1 En Excel se deben hacer los filtros para poder programar los MP de la semana siguiente y el encargado menciona que en algunas ocasiones por error en filtros omitió los MP de algunas máquinas	
	Causa Potencial 2.2:	Al activar los equipos que se encontraban fuera de servicio, el sistema continúa contando los días de mantenimiento y el MP queda tarde.	
¿Porqué?	2.2 Porque no está definido en el procedimiento como proceder en estos casos para justificarlo, ya que es una limitante del software.	Sí, mediante una prueba en el sistema y revisando el historial de cambios de máquinas con PM tarde se identificó que estaban inactivas pero el sistema no reinicia la frecuencia.	
3. Personal	Causa Potencial 3.1:	No se solicitaron las extensiones de los MP antes de los 14 días de vencimiento.	
	¿Porqué?	Porque no se tenía claro el procedimiento que indica los pasos para extender un MP.	Sí, mediante la encuesta realizada al personal del departamento se identifica que algunos técnicos desconocían sobre la gestión de aprobación requerida para extender el PM.
	¿Porqué?	3.1.1 Porque no todos comprendían el flujo de la Gestión para aprobación de una extensión del MP.	
4. Entrenamiento	Causa Potencial 4.1:	Los técnicos no se percataban de que tenían mantenimientos asignados.	
	¿Porqué?	Los técnicos no sabían dónde revisar los MP que tenían asignados en el sistema.	Sí, mediante la encuesta realizada al personal del departamento, se determina que algunos mantenimientos estaban asignados pero no se ejecutaban debido a que el técnico desconocía que tenía trabajos de PM asignados.
	¿Porqué?	El personal y encargado no sabía específicamente cual era el procedimiento.	
	¿Porqué?	4.1.1 El entrenamiento del procedimiento se realiza únicamente como lectura y no en forma práctica por tanto no tenían claro como revisarlo en sistema.	

Fuente: elaboración propia

4.1.9 Matriz Multicriterio

Para seleccionar la causa raíz del problema se aplicó la matriz multicriterio donde se sometió a votación por parte de los integrantes del equipo de trabajo para ponderar las causas finales identificadas en la matriz de confrontación.

Tabla 19 Matriz multicriterio aplicada

Categoría	Causas	Gerente de PM	Programador de PM	Técnico PM T4	Técnico PM T5	Técnico PM T6	Puntos Totales	Ponderación
Método 2.1.1	Por Error en los filtros aplicados en el reporte en Excel se omitían máquinas a la hora de hacer programación.	4	5	5	4	4	22	23.9%
Máquina 1.1.1	No hay un punto de reorden establecido para los repuestos de las máquinas.	4	5	3	4	4	20	21.7%
Método 2.2	Al activar los equipos que se encontraban fuera de servicio, el sistema continúa contando los días de mantenimiento y el PM queda tarde.	5	5	3	2	2	17	18.5%
Personal 3.1.1	No todos comprendían el flujo de la Gestión para aprobación de una extensión del PM y los roles no estaban claros	3	2	4	4	4	17	18.5%
Entrenamiento 4.1.1	El entrenamiento del procedimiento se realiza únicamente como lectura y no los técnicos tenían claro cómo saber cuándo tenían taras del PM asignadas.	2	2	4	4	4	16	17.4%

Fuente: elaboración propia

4.1.10 Diagrama de Pareto aplicada a las causas identificadas

Luego de la aplicación de la matriz multicriterio, se realiza un análisis de Pareto para determinar la causa raíz y los factores contribuyentes. Se presenta a continuación el diagrama de Pareto de las causas asignables y ponderadas a partir de la matriz multicriterio:

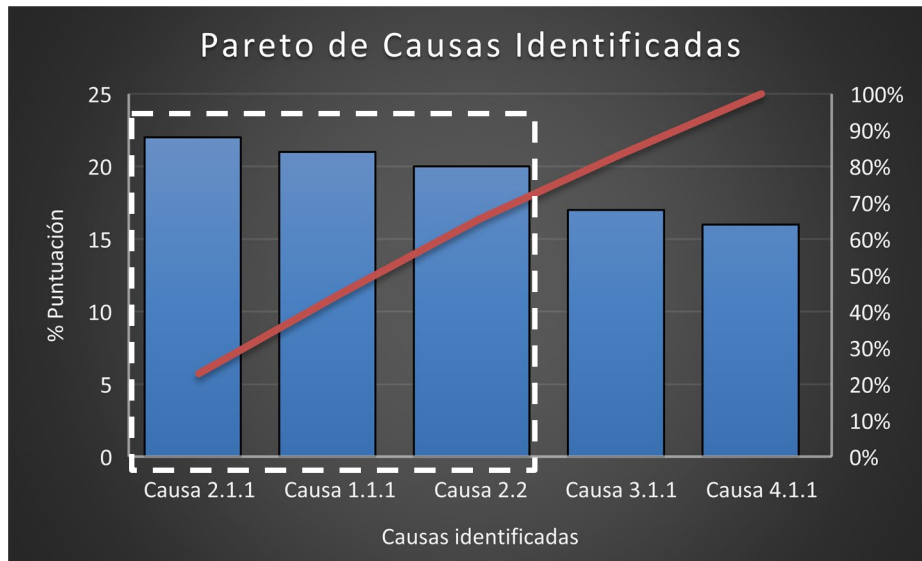


Figura 25 Diagrama Pareto de causas identificadas.
Fuente: Elaboración propia

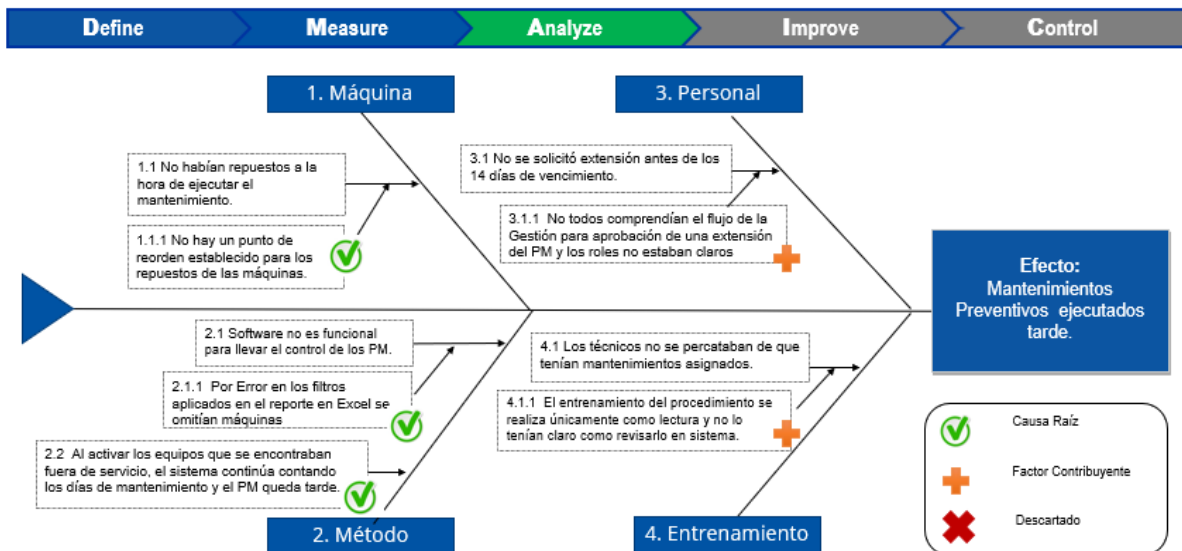


Figura 26 Diagrama Causa efecto.
Fuente: Elaboración propia.

4.2 Conclusiones del Capítulo

Posterior a la realización del diagrama de Pareto se llega a las siguientes conclusiones:

Las causas raíz del problema está definida por las siguientes tres causas:

- **Causa 2.1.1.** Por Error en los filtros aplicados en el reporte en Excel se omitían máquinas a la hora de hacerla programación de los mantenimientos preventivos. Se dificulta la visualización y gestión de información durante la programación. Se observa necesidad de procesamiento y análisis de los datos almacenados en la base de datos del sistema.
- **Causa 1.1.** No hay un punto de reorden establecido para los repuestos de las máquinas.
- **Causa 2.2.** Al activar los equipos que se encontraban fuera de servicio, el sistema continúa contando los días de mantenimiento y el PM queda tarde.

Los factores contribuyentes están definidos por las siguientes dos causas:

- **Causa 3.1.1.** No todos comprendían el flujo de la Gestión para aprobación de una extensión del PM y los roles no estaban claros
- **Causa 4.1.1.** El entrenamiento del procedimiento se realiza únicamente como lectura y no los técnicos tenían claro cómo saber cuándo tenían taras del PM asignadas.

Se identifica durante el análisis como parte de la causa raíz un problema en la visualización y gestión de datos. Se discute la necesidad de la creación de una herramienta que permita gestionar de forma correcta la base de datos que permita tomar decisiones preventivas y no correctivas en cuanto a la gestión de mantenimientos preventivos de las máquinas en Resonetics Costa Rica.

Capítulo V: Diseño e Implementación de la Solución

5.1 Ciclo PHVA

Al finalizar las etapas de definición, medición y análisis del ciclo DMAIC, se aplica la etapa de implementación y control utilizando la metodología del ciclo PHVA para diseñar la propuesta de mejora para el problema generado por los mantenimientos tarde en la empresa Resonetics.

5.2 Fase Planear: Plan de Acción de la Propuesta

En conclusión, del capítulo 4, se identificaron 5 causas comprobadas en el diagrama causa y efecto. Se presentan las siguientes acciones para eliminar la causa raíz y los factores contribuyentes:

Tabla 20 Propuesta de acciones correctivas

Categoría	Descripción de la causa	Clasificación	Acciones Correctivas Propuestas
2. Método	2.1.1 Por Error en los filtros aplicados en el reporte en Excel se omitían máquinas a la hora de hacer programación.	Causa Raíz	Acción 1. Diseñar herramienta para mejorar la visualización de la Gestión de PM y entrenar al personal en el uso de la herramienta.
1. Máquina	1.1.1 No hay un punto de reorden establecido para los repuestos de las máquinas.	Causa Raíz	Acción 2. Definir el punto de reorden en sistema para contar con los repuestos a la hora de ejecutar el PM.
2. Método	2.2 Al activar los equipos que se encontraban fuera de servicio, el sistema continúa contando los días de mantenimiento y el PM queda tarde.	Causa Raíz	Acción 3. Definir una nota para las tareas de equipos estuvieron inactivos y por ende quedan con PM tarde. (Nota de justificación).
3. Personal	3.1.1 No todos comprendían el flujo de la Gestión para aprobación de una extensión del PM y los roles no estaban claros	Factor contribuyente	Acción 4. Entrenamiento guiado para personal de mantenimientos sobre el procedimiento que indica cómo gestionar las extensiones de los PM en el sistema y entrenamiento en el nuevo proceso de gestión de mantenimiento.
4. Entrenamiento	4.1.1 El entrenamiento del procedimiento se realiza únicamente como lectura y los técnicos no tenían claro donde revisar cuándo tenían tareas del PM asignadas.	Factor contribuyente	Acción 5. Diseñar herramienta para mejorar la visualización de las tareas asignadas a cada técnico y entrenar en el uso de la herramienta

Fuente: elaboración propia

5.2.1 Análisis Costo – Beneficio de la Propuesta

Se detalla en la siguiente tabla los costos por actividad donde se cuantifican los recursos, tiempos requeridos para cada actividad y otros costos asociados. Se presenta el detalle en colones y dólares.

Tabla 21 Detalle del costo de cada acción correctiva propuesta

Acción Correctiva 1 y 5: Diseño de Herramienta en Power BI					
Descripción de la actividad	Horas estimadas requeridas	Recurso humano requerido	Costo hora	Estimación costo colones	Estimación costo en dolares
Diseño de la herramienta	8	1	₡ 4,000	₡ 32,000	\$ 51
Entrenamiento del personal	1	26	₡ 4,000	₡ 104,000	\$ 165
Total				₡ 136,000	\$ 216
Acción Correctiva 2: Definir punto de reorden					
Descripción de la actividad	Horas estimadas requeridas	Recurso humano requerido	Costo hora	Estimación costo colones	Estimación costo en dolares
Definición del punto de reorden	10	1	₡ 3,500	₡ 35,000	\$ 56
Total				₡ 35,000	\$ 56
Acción Correctiva 3: Definición de nota estándar en sistema equipos inactivos					
Descripción de la actividad	Horas estimadas requeridas	Recurso humano requerido	Costo hora	Estimación costo colones	Estimación costo en dolares
Sesión de consenso de estandarización	0.5	3	₡ 4,000	₡ 6,000	\$ 10
Total				₡ 6,000	\$ 10
Acción Correctiva 4: Entrenamiento en nuevo procedimiento de gestión de PM y extensión de mantenimiento					
Descripción de la actividad	Horas estimadas requeridas	Recurso humano requerido	Costo hora	Estimación costo colones	Estimación costo en dolares
Creación del nuevo procedimiento con las mejoras	10	1	₡ 4,500	₡ 45,000	\$ 71
Entrenamiento del personal	1.5	26	₡ 4,000	₡ 156,000	\$ 248
Total				₡ 45,000	\$ 71

Fuente: elaboración propia

Tabla 22 Tabla resumen de costos estimados de implementación del proyecto

Acciones Correctivas Propuestas	Costo Total col.	Costo Total dol.
Acción 1 y 5	₺ 136,000	\$ 216
Acción 2	₺ 35,000	\$ 56
Acción 3	₺ 6,000	\$ 10
Acción 4	₺ 45,000	\$ 71
Costo Total de la propuesta	₺ 222,000	\$ 352

Fuente: elaboración propia

En Tabla 21 y Tabla 22, se detallan los costos de implementación estimados de cada una de las acciones.

Tabla 23 Tabla resumen de coste-beneficio del proyecto

Beneficios Proyectados	% Reducción esperado	Total en col.	Total en dol.
Reducción de producto defectuoso	50%	₺ 7,272,246	\$ 11,543
Tiempo utilizado en Investigaciones	100%	₺ 1,800,000	\$ 2,857
La reducción tiempos de paros por fallas de máquina (costo de oportunidad)	50%	₺ 112,101,516	\$ 177,939
Beneficio Anual proyectado		₺ 121,605,762	\$ 193,025
Costo del proyecto		₺ 222,000	\$ 352
Costo - Beneficio		₺121,383,762	\$192,673

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 23 se muestra el coste beneficio del proyecto en el que se utiliza la fórmula un costo por unidad de \$ 0,40 y un margen de ganancia de \$ 0,40. El coste beneficio del proyecto está calculado con una proyección de una reducción teórica de 50% de producto defectuoso provocado por fallas de máquinas, 100% de reducción del tiempo utilizado para investigaciones relacionados a la falla en el cumplimiento el plan de mantenimiento preventivo y un 50% de reducción de tiempo de paro por fallas de las máquinas.

Adicionalmente, se estima un ahorro en el tiempo requerido para la programar los mantenimientos preventivos es de un 75%. El programador le toma cuatro horas realizar el programa de mantenimiento semanal para solicitar los tiempos para el plan de

producción semanal. Durante el plan piloto de la herramienta creada en Power BI, el programador reportó una reducción en el tiempo que tardaba en realizar el programa de mantenimiento de 4 horas a 1 hora semanalmente, esto significa un ahorro estimado de \$ 685 dólares anualmente.

El proyecto tiene un beneficio de ₡121,383,762 colones equivalentes a \$192,673 dólares y un costo de ₡ 222,000 colones equivalente \$ 352 aproximadamente.

Para el cálculo de la relación del coste beneficio del proyecto se aplica la fórmula

$B/C \geq 1$ donde:

B es igual a beneficio

C es igual a costo

Donde $B/C \geq 1$: Es Viable y $B/C < 1$: No es Viable.

La relación del costo beneficio es de 546.7, lo que significa que el proyecto es viable para la empresa.

5.3 Fase Hacer: Diagrama Gantt del Proyecto

Se detalla en la siguiente el diagrama de Gantt del proyecto que describe cada una de el diagrama de Gantt con las fechas propuestas para cada actividad. Las actividades 1, 2 y 4 fueron completadas como parte del plan piloto para verificación de la efectividad de la herramienta en Microsoft Power BI.

Actividad	Actividad / Entregable	Recursos	Responsable	Duración Horas	Avance	Sep-21				Oct-21				Nov-21				
						1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Acción 1 y 5	Diseño de la herramienta en Power BI	1	Tec. Calidad	8	100%	█	█											
Acción 1 y 5	Plan piloto para verificación de efectividad de herramienta	1	Tec. Calidad	720	100%		█	█	█	█	█							
Acción 4	Entrenamiento guiado en uso de la herramienta	26	Tec. Calidad	1	0%						█	█						
Acción 3	Definición de nota estándar para equipos que se reactivan	3	Gerente de Mantenimiento	0.5	100%	█												
Acción 4	Creación de procedimiento para gestión de Mantenimiento	1	Tec. Mantenimiento	10	90%		█	█	█	█	█	█	█					
Acción 1 y 5	Entrenamiento en la nueva gestión de Mantenimientos	26	Tec. Mantenimiento	1.5	0%											█	█	

Figura 27 Diagrama Gantt del proyecto

Fuente: Elaboración propia.

Como propuesta de mejora en la gestión de los mantenimientos tomando como punto de partida que la visualización y control del estado en que se encuentran las distintas tareas de mantenimientos se dificulta en el sistema actual y que esto ha provocado errores en la programación que provoca la omisión máquinas que no se agendan en la sesión de planeación de la producción.

Es necesario poder contar con herramientas que permitan dar seguimiento más sistemático al comportamiento no sólo de los indicadores económicos, sino de otros indicadores que caracterizan la marcha de la empresa, en función de los objetivos a lograr. (García Pérez, 2020).

Por lo que se propone implementar una herramienta en Power BI para una visualización, control detallado que permite a la empresa una gestión de datos mucho más precisa del mantenimiento en la empresa Resonetics. Esta herramienta se conectará con origen de datos del sistema mediante SQL server. La base de datos se refrescará cada 4 horas y cuenta con un sistema semáforo para visualización rápida del estado de cada tarea.

5.3.1 Dashboard para Gestión de los Mantenimientos

Se presenta prototipo del Dashboard en power BI que contiene las siguientes funciones:

- 1) Contabilizar los días desde la fecha actual y la fecha de vencimiento.
- 2) Visualizar el ID# de equipo, frecuencia de mantenimiento, tiempo estimado de ejecución en horas, tarea a realizar.
- 3) Realizar filtros de equipos que están activos o inactivos, la descripción del equipo o filtros de búsqueda según el número de equipo.
- 4) Tareas de mantenimiento asignadas por técnico o personal de mantenimiento.
- 5) Matriz de cantidad de órdenes abiertas de mantenimiento o reparación por persona.
- 6) Cantidad de ordenes abiertas por máquina.
- 7) Actualización cada 4 horas de manera automática, Dashboard se encuentra conectado con la base de datos del sistema de gestión de calidad de la empresa.

En la Figura 29 presenta la propuesta del Dashboard en power BI:

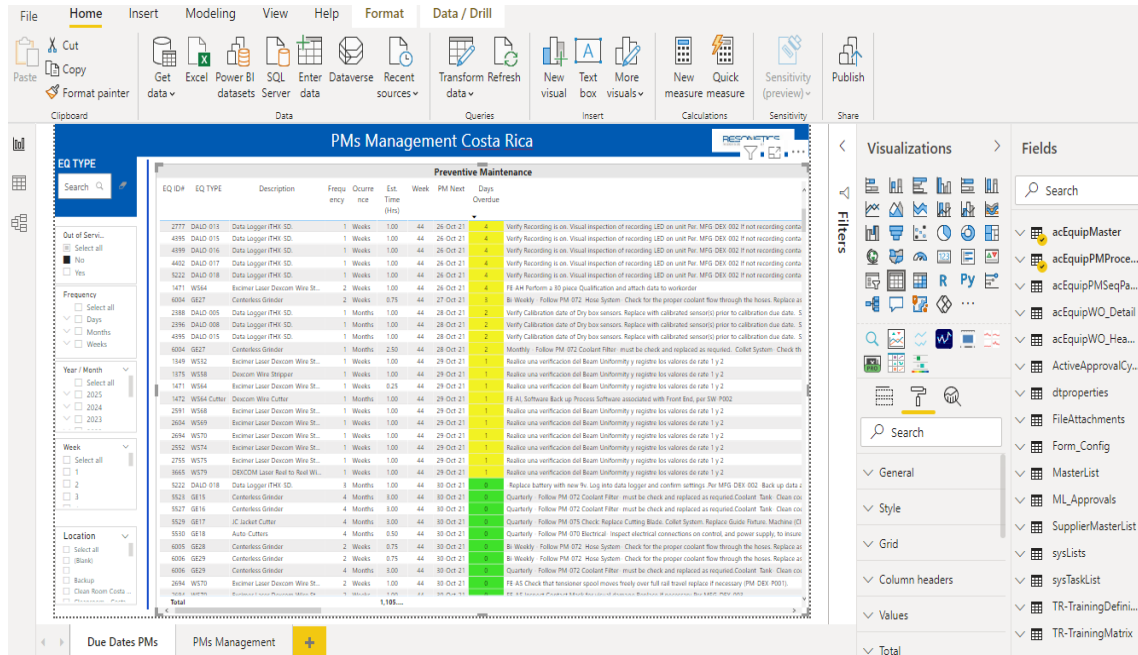
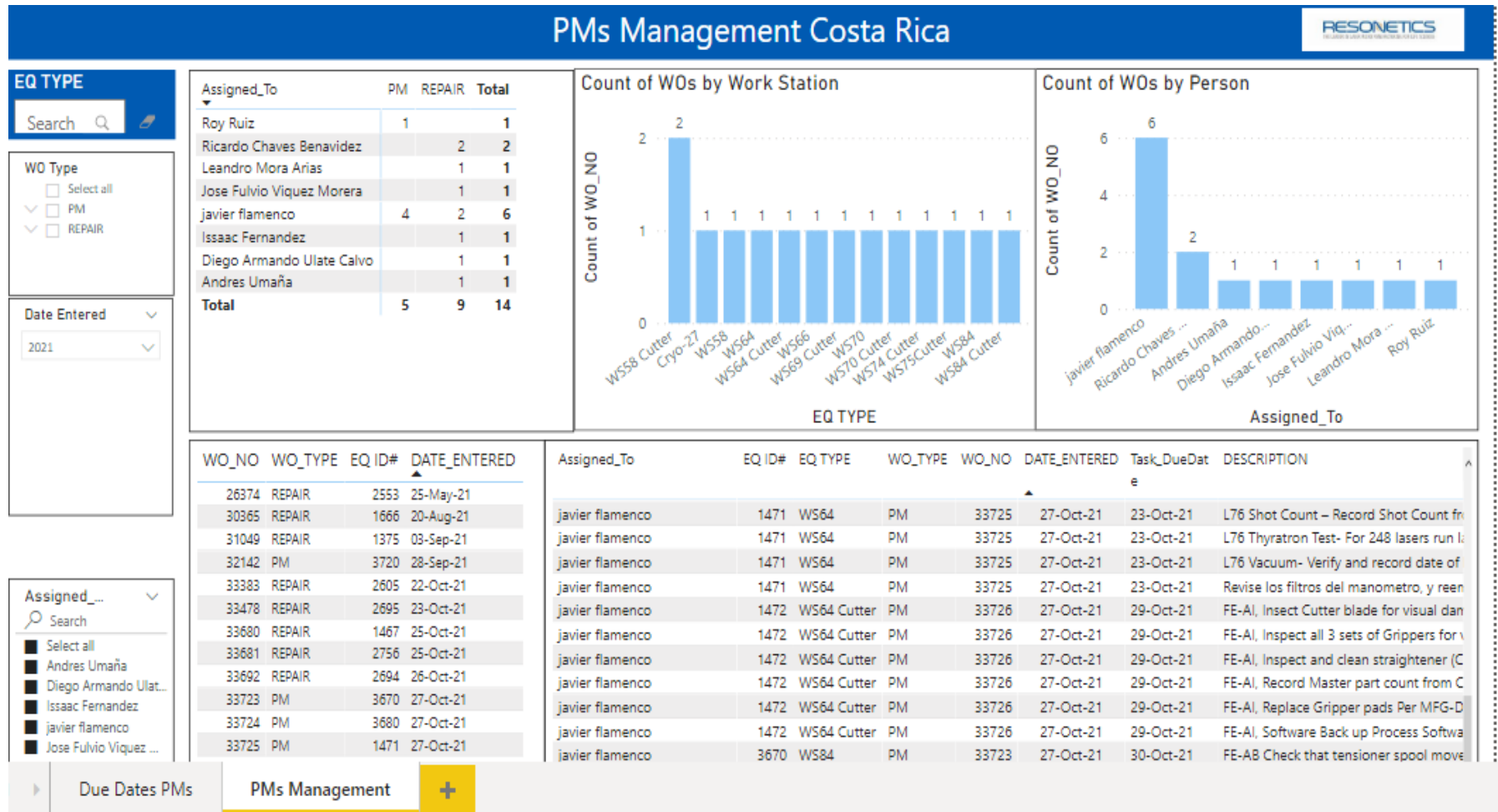


Figura 28 Propuesta Dashboard de PM
Fuente: Elaboración propia.

PMs Management Costa Rica									
Preventive Maintenance									
EQ ID#	EQ TYPE	Description	Frequ ency	Ocurre nce	Est. Time (Hrs)	Week	PM Next	Days Overdue	
1349	WS32	Excimer Laser Dexcom Wire St...	2	Months	1.00	45	01-Nov-21	11	L50 HV Cable- Grease the High Voltage cable ends with HV insulating grease. Verify Thyatron setting ©. F
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	2	Weeks	1.00	45	03-Nov-21	9	FE-AB Check that tensioner spool moves freely over full rail travel replace if necessary
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	2	Weeks	1.00	45	03-Nov-21	9	FE-AB Inspect Contact Mask for visual damage Replace if necessary Per MFG-DEX-003
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	2	Weeks	0.25	45	03-Nov-21	9	FE-AB Inspect Grippers for visible wear/damage Clean or replace as necessary Per MFG-DEX-003
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	2	Weeks	0.08	45	03-Nov-21	9	FE-AB Record Master R2R part count
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	2	Weeks	1.00	45	03-Nov-21	9	FE-AH Perform a 30 piece Qualification and attach data to workorder
3675	WS79 Cutter	DEXCOM CUTTER	2	Weeks	1.00	45	03-Nov-21	9	Inspect all 3 sets of Grippers for visible wear/damage replace a necessary Per MFG-DEX-004
3675	WS79 Cutter	DEXCOM CUTTER	2	Weeks	1.00	45	03-Nov-21	9	Inspect and clean straightener (Clean Straightener with Dry Nitrogen and or IPA as required, Inspect that
3675	WS79 Cutter	DEXCOM CUTTER	2	Weeks	1.00	45	03-Nov-21	9	Inspect Cutter blade for visual damage rotate as necessary Per MFG-DEX-004
3675	WS79 Cutter	DEXCOM CUTTER	2	Weeks	1.00	45	03-Nov-21	9	Record Master part count
1349	WS32	Excimer Laser Dexcom Wire St...	2	Weeks	1.00	45	04-Nov-21	8	FE-K Check that tensioner spool moves freely over full rail travel replace if necessary
1349	WS32	Excimer Laser Dexcom Wire St...	2	Weeks	1.00	45	04-Nov-21	8	FE-K Inspect Contact Mask for visual damage Replace if necessary Per MFG-DEX-003
1349	WS32	Excimer Laser Dexcom Wire St...	2	Weeks	1.00	45	04-Nov-21	8	FE-K Inspect Grippers for visible wear/damage Clean or replace as necessary Per MFG-DEX-003.
1349	WS32	Excimer Laser Dexcom Wire St...	2	Weeks	1.00	45	04-Nov-21	8	FE-K Perform a 30 piece Qualification and attach data to workorder
1349	WS32	Excimer Laser Dexcom Wire St...	2	Weeks	1.00	45	04-Nov-21	8	FE-K Record Master part count
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	1	Months	1.00	45	04-Nov-21	8	L63 Check Sigma, per PM800 Manual section 7.1 (page 7-1 to 7-3) Record on Data Collector
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	1	Months	1.00	45	04-Nov-21	8	FE-AB All Filters Clean/Replace - Vacuum air filter, FE intake filter and computer filter. Check nitrogen filter
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	1	Months	1.00	45	04-Nov-21	8	FE-AB Calibrate Onboard Energy Meter - For systems using an onboard energy Detector using a calibrate
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	1	Months	1.00	45	04-Nov-21	8	FE-AB General System Check - Check laser energy. Record laser performance after PM in QCBD
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	1	Months	1.00	45	04-Nov-21	8	FE-AB General System Cleaning - Clean debris from around FE. Clean Process Enclosure using dry cloth or
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	1	Months	1.00	45	04-Nov-21	8	FE-AB Optical Inspection- Perform visual inspection with a flash light. Clean and/or replace as necessary. V
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	1	Months	1.00	45	04-Nov-21	8	FE-AB Software Back up Process Software associated with Front End, per SW-P002
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	1	Months	1.00	45	04-Nov-21	8	L63 Optics Change- Evaluate laser optic performance. If laser energy has dropped by more than 50mj sinc
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	1	Months	1.00	45	04-Nov-21	8	L63 Shot Count - Record total shot count from mini-controller on Data Collector
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	1	Months	1.00	45	04-Nov-21	8	L63 Thyatron Test- For 248 lasers run laser at 30KV and 100 HZ for 5 min. then increase to 200HZ for 1 mi
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	1	Months	1.00	45	04-Nov-21	8	L63 Vacuum- Verify and record date of last service and record of number of fills since last Vacuum service.
3665	WS79	DEXCOM Laser Reel to Reel Wi...	1	Months	1.00	45	04-Nov-21	8	Update FE-Laserservice datasheet with current shot count
3675	WS79 Cutter	DEXCOM CUTTER	1	Months	1.00	45	04-Nov-21	8	FE-BB Software Back up Process Software associated with Front End, per SW-P002
1350	WS32 Cutter	DEXCOM CUTTER	2	Weeks	1.00	45	05-Nov-21	7	FE-MM, Inspect all 3 sets of Grippers for visible wear/damage replace a necessary Per MFG-DEX-004
1350	WS32 Cutter	DEXCOM CUTTER	2	Weeks	1.00	45	05-Nov-21	7	FE-MM, Inspect and clean straightener (Clean Straightener with Dry Nitrogen and or IPA as required, Inspe
1350	WS32 Cutter	DEXCOM CUTTER	2	Weeks	1.00	45	05-Nov-21	7	FE-MM, Inspect Cutter blade for visual damage rotate as necessary Per MFG-DEX-004
Total					1,203....				

Figura 29 Vista 1. Propuesta de Dashboard de PM

Fuente: Elaboración propia.



Due Dates PMs

PMs Management +

Figura 30 Vista 2. Propuesta de Dashboard de PM
Fuente: Elaboración propia.

5.4 Fase Verificar: Plan de Control y Verificación del Proyecto

Se presenta en la siguiente tabla el plan para la verificación, control y seguimiento de las acciones correctivas propuestas, así como los responsables de cada actividad.

Tabla 24 Plan de verificación, control y seguimiento de las propuestas.

Acciones Correctivas Propuestas	Responsable	Tiempo de Verificación	Método Control	Seguimiento
Acción 1	Técnico de Calidad	1 mes	KPI PM Estatus	Revisión diaria del Dashboard medición el KPI PM a tiempo, en prórroga o tarde.
Acción 2	Encargado de bodega	1 día	Revisión ERP	Revisión de la definición adecuada de los puntos de reorden para los repuestos requeridos para tareas de mantenimiento.
Acción 3	Líder de Mantenimiento	1 mes	Revisión en sistema	Se descarga reporte de PM ejecutado en el mes posterior a la implementación de las acciones para verificar la existencia de la nota estándar en equipos que se reactivan en sistema.
Acción 4	Programador de PM	1 día	Prueba práctica para todos los técnicos de PM	Aplicación evaluación teórico-práctica en uso de herramienta y uso del sistema en módulo de Mantenimientos.
Acción 5	Técnico de Calidad	1 mes	KPI PM Estatus	Revisión diaria del Dashboard, medición del KPI PM a tiempo, en prórroga o tarde.

Fuente: Elaboración propia

5.5 Fase Actuar: Plan Piloto para Verificación de Efectividad

Se procede a realizar una medición por un periodo de dos meses posterior al diseño del prototipo de la herramienta que como parte de la verificación de efectividad.

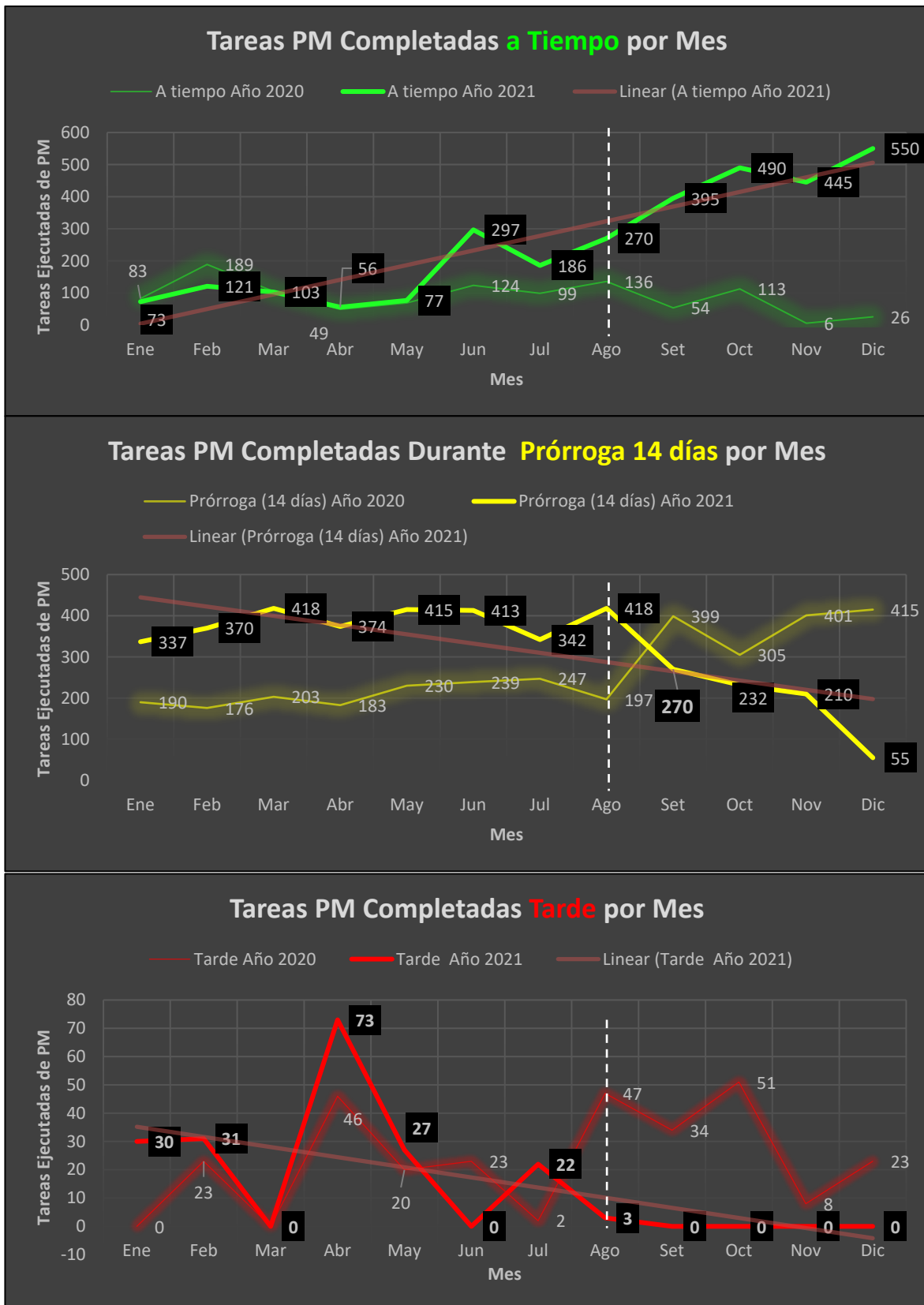


Figura 31 Tendencias KPIs de PM año 2020 y 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Durante el periodo de verificación de la efectividad de la herramienta en Power BI se observa una tendencia positiva de las tareas que se completan a tiempo y se observa una disminución de la cantidad de tareas que se completan durante tiempo de prórroga. Se logró disminuir a cero la cantidad de mantenimientos completados tarde luego de la implementación de la acción correctiva No. 1 y No. 5. Se observa en la gráfica de tiempos por reparaciones de máquina, una disminución significativa de las horas utilizadas mensualmente durante la ejecución del plan piloto en setiembre y octubre.

Paralelo al periodo de verificación efectiva de las soluciones propuestas, se inició con la creación del nuevo procedimiento para la gestión de mantenimientos preventivos en la empresa Resonetics que indica el uso del dashboard en Power BI como herramienta de ayuda en el control de los mantenimientos preventivos así como las acciones correctivas propuestas en este proyecto. Refiérase a la Figura 27 para mayor detalle del plan de implementación.

Este nuevo procedimiento de Gestión de los Mantenimientos Preventivos se encuentra en etapa de primera revisión, luego el responsable del proyecto creará la orden de cambio en el Sistema de Gestión de Calidad para someter el documento a aprobación por el Gerente de Mantenimiento y Gerente de Calidad. Una vez aprobado los líderes de Mantenimiento serán entrenados y realizarán el despliegue del entrenamiento a todo el personal de departamento. Por último, el encargado del centro de control de documentación hará la publicación oficial de la revisión A en el Sistema de Gestión de Calidad. En el anexo 1 donde se observa extracto de la versión inicial del documento en etapa de aprobación.

Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos por el análisis se concluye lo siguiente:

Mediante la metodología DMAIC se hace un análisis para identificar la causa raíz del problema en la gestión de los mantenimientos preventivos que se ejecutan tarde. Se identifica un 6% de las tareas ejecutadas tarde durante año 2020 y un 4% en el año 2021. Además, se observó una tendencia hacia arriba de los mantenimientos correctivos en el año 2021 que evidencia las fallas en las máquinas debido a las fallas en la gestión de esto. El impacto en el producto por fallas en las máquinas es de ₡ 7,578,648 en el 2021. Ver tabla1. para mayor detalle. Se identifica como causa raíz de los mantenimientos ejecutados tarde un faltante de repuestos a la hora de ejecutarlos debido a que no existe punto de reorden de los repuestos en sistema, la deficiencia en de entrenamiento en el uso del software donde se gestionan las actividades de mantenimiento y errores en la programación por omisión de máquinas, todo esto resulta en el incumplimiento de las frecuencias de los mantenimientos de las máquinas en Resonetics S.A que ha tenido un impacto de ₡ 234,995,256 en el 2020 y ₡ 174,646,560 en el año 2021.

Se propone la creación de una herramienta en Power BI que permite un control detallado de los mantenimientos preventivos y se elabora una propuesta de un plan de acción para atacar cada una de las causas del problema, así como el plan de verificación, control y seguimiento para la implementación del proyecto. Se logra medir una mejora en las tendencias en los dos meses posteriores a la prueba piloto de la herramienta que evidencia una reducción en los tiempos de paro de las máquinas por fallas, incremento en las tareas que se completan a tiempo y la disminución de las tareas completadas en periodo de prórroga.

Con la implementación de este proyecto se estima un beneficio económico de ₡121,383,762 con una proyección realista del 50% de reducción en material desechado por fallas de las máquinas por la atención tardía de las mismas. Se estima una reducción del 50% del tiempo de paro por fallas de las máquinas. Hay una reducción del tiempo requerido

para realizar la programación semanal de los PM que representa una reducción del 75% del tiempo estándar utilizado para este elemento.

La mejora en la gestión de los mantenimientos preventivos brindará un mejor desempeño de las máquinas y el incremento en la productividad.

6.2 Recomendaciones.

Se recomiendan a la empresa Resonetics considerar los siguientes puntos durante y posterior a la finalización de la implementación de la propuesta:

- Se recomienda la evaluar la contratación de más técnicos para dar soporte a la demanda de tareas de PM, esto debido al crecimiento exponencial y acelerado de la organización, se proyecta un crecimiento del 50% en adquisición de nuevas máquinas.
- Se recomienda la asignación de un entrenador experto en el área de mantenimiento para cada turno, esto con el fin de estandarizar el entrenamiento entre turnos de trabajo.
- Se recomienda hacer la integración de Power BI con Power automate para enviar alertas al correo electrónico para un mayor control y pronta respuesta.
- Además, es importante que se considere un análisis de mantenimiento predictivo para las máquinas para lograr un mejor desempeño en las máquinas.
- Por último, se recomienda la estandarización de información de la base de datos para un aprovechamiento al máximo del dashboard en Power BI y de esta forma evitar errores en filtros.

Bibliografía

- Admin Inteligencia. (2021, January 12). *Inteligencia Tips & Datos - ¿Qué es Power BI?*
<https://inteligencia.dds.pe/power-bi/power-bi/>
- Boero, C. (2020). *Mantenimiento Industrial*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas.
<https://elibro.net.uh.remotexs.xyz/en/ereader/bibliouh/172523?page=100>
- Cerda-Leiva, L., Araya-Castillo, L., & Barrientos Oradini, N. (2020). ¿CUÁNTO SE HA AVANZADO EN PROPORCIONAR ANALÍTICA E INTELIGENCIA DE NEGOCIOS A LAS PYMES? *INVESTIGACION & DESARROLLO*, 19(2), 167–175. <https://doi.org/10.23881/IDUPBO.019.2-11E>
- Conessa Caralt, J., & Curto Díaz, J. (2013). *Introducción a Business Intelligence*.
<https://doi.org/https://elibro.net.uh.remotexs.xyz/en/ereader/bibliouh/56524?page=19>.
- Gallarà, I., & Pontelli, D. (2020). *Mantenimiento Industrial*.
- García Pérez, A. M. (2020). Aplicación de técnicas de inteligencia de negocios y análisis de datos en el entorno empresarial cubano: retos y perspectivas. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 14(4), 191–209. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992020000400191&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Gutiérrez, I. (2017). ¿Qué es un sistema de gestión y para qué sirve? - Caltic Consultores. *¿Qué Es Un Sistema de Gestión y Para Qué Sirve?* <https://calticconsultores.com/articulos/sistema-gestion-sirve.html>
- ISO. (2016). *INTERNATIONAL STANDARD medical devices* —. 12.
- Monge, D. (2020). *Optimización del modelo de atención de mantenimiento preventivo y correctivo de la flotilla vehicular del área de almacenamiento y distribución CCSS en el gran área metropolitana durante el primer cuatrimestre del año 2020*. [Universidad Hispanoamericana].
<http://13.65.82.242:8080/xmlui/handle/cenit/6180>
- Quesada, J. (2019). *Estandarización del mantenimiento preventivo de las máquinas de Electroposición del departamento de plating de la empresa SAMTEC para el segundo cuatrimestre del 2019*.
<http://170.246.100.106:7501/xmlui/bitstream/handle/cenit/834/NUT-585.pdf?sequence=1>
- Resonetics. (n.d.). *About Medical Device Micro-Manufacturing | We are Resonetics*. Retrieved November 8, 2021, from <https://resonetics.com/about-us/>
- Rodríguez, J. (2019). *DMAIC “Las 5 Fases para la mejora de los Procesos” | SPC Consulting Group*. DMAIC “Las 5 Fases Para La Mejora de Los Procesos.” <https://spcgroup.com.mx/dmaic-las-5-fases-para-la-mejora-de-los-procesos/>
- Salazar, L. (2019, June 5). *¿Qué es Ingeniería Industrial? | Ingeniería Industrial Online*. Definición de Ingeniería Industrial. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/conceptos-generales/que-es-ingenieria-industrial/>
- Socconini, L. V., & Reato, C. (2019). *Lean six sigma: sistema de gestión para liderar empresas*. Marge Books.

Anexo 1

Propuesta del procedimiento de Gestión de Mantenimientos Preventivos

RESONETICS													
Título: Gestión de Mantenimientos Preventivos	Doc #: 2500XXX	Revisión: A	Página: 1 de 4										
<p>1.0 Propósito Este documento describe los procedimientos que deben ser utilizados por el departamento de Servicio de Mantenimiento / Facilidades al realizar gestiones de Mantenimientos preventivos.</p>													
<p>2.0 Alcance Pertenece a los equipos comerciales utilizados en el proceso de fabricación de la realización de producto y equipos de la facilidad.</p>													
<p>3.0 Documentos de Referencia</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Número de documento</th> <th>Nombre de documento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LEVII-005</td> <td>Procedimiento de Mantenimiento</td> </tr> <tr> <td>MNT-P003</td> <td>Mantenimiento de Equipo por Demanda</td> </tr> <tr> <td>PM-P053</td> <td>Procedimiento para equipos fuera de servicio</td> </tr> </tbody> </table>				Número de documento	Nombre de documento	LEVII-005	Procedimiento de Mantenimiento	MNT-P003	Mantenimiento de Equipo por Demanda	PM-P053	Procedimiento para equipos fuera de servicio		
Número de documento	Nombre de documento												
LEVII-005	Procedimiento de Mantenimiento												
MNT-P003	Mantenimiento de Equipo por Demanda												
PM-P053	Procedimiento para equipos fuera de servicio												
<p>4.0 Roles y Responsabilidades</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Función/Rol</th> <th>Responsabilidades</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gerente de Mantenimiento/ Facilidades</td> <td>Responsable de garantizar que se realice una correcta gestión de mantenimientos preventivos según el módulo de administración de equipos de QCBD.</td> </tr> <tr> <td>Líder de Mantenimiento o designado</td> <td>Responsable de determinar el mantenimiento preventivo requerido, la programación , frecuencia de los equipos y garantizar que este procedimiento sea preciso y entendido.</td> </tr> <tr> <td>Técnico de Mantenimiento</td> <td>Responsable de revisar tareas u ordenes de trabajo según sea asignado. Debe de ejecutar, adjuntar y completar el proceso de Mantenimiento Preventivo en QCBD en el tiempo establecido .</td> </tr> <tr> <td>Calidad</td> <td>Responsable por mantener este procedimiento general para la gestión de mantenimiento</td> </tr> </tbody> </table>				Función/Rol	Responsabilidades	Gerente de Mantenimiento/ Facilidades	Responsable de garantizar que se realice una correcta gestión de mantenimientos preventivos según el módulo de administración de equipos de QCBD.	Líder de Mantenimiento o designado	Responsable de determinar el mantenimiento preventivo requerido, la programación , frecuencia de los equipos y garantizar que este procedimiento sea preciso y entendido.	Técnico de Mantenimiento	Responsable de revisar tareas u ordenes de trabajo según sea asignado. Debe de ejecutar, adjuntar y completar el proceso de Mantenimiento Preventivo en QCBD en el tiempo establecido .	Calidad	Responsable por mantener este procedimiento general para la gestión de mantenimiento
Función/Rol	Responsabilidades												
Gerente de Mantenimiento/ Facilidades	Responsable de garantizar que se realice una correcta gestión de mantenimientos preventivos según el módulo de administración de equipos de QCBD.												
Líder de Mantenimiento o designado	Responsable de determinar el mantenimiento preventivo requerido, la programación , frecuencia de los equipos y garantizar que este procedimiento sea preciso y entendido.												
Técnico de Mantenimiento	Responsable de revisar tareas u ordenes de trabajo según sea asignado. Debe de ejecutar, adjuntar y completar el proceso de Mantenimiento Preventivo en QCBD en el tiempo establecido .												
Calidad	Responsable por mantener este procedimiento general para la gestión de mantenimiento												

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

San José, 02 de febrero de 2022

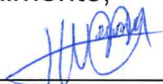
Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Wendy Molina Fernández con número de identificación 1-1401-0530 autor (a) del trabajo de graduación titulado Mejora en el sistema de gestión de mantenimientos preventivos de las máquinas mediante la construcción de una herramienta en Power BI en Resonetics Costa Rica, Zona Franca Coyol de Alajuela durante el segundo semestre del año 2021 presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar por el título de Bachillerato; SI autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

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

Cordialmente,


1-14010530

Firma y Documento de Identidad

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

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

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

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

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

CARTA DEL TUTOR

San José, 5 de diciembre de 2021

Estimados Señores
Carrera de Ingeniería Industrial
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

La estudiante Wendy Molina Fernández, cédula de identidad número 1 1401 0530, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado: “Mejora en el sistema de gestión de mantenimientos preventivos de las máquinas mediante la construcción de una herramienta en Power BI en Resonetics Costa Rica, zona Franca Coyoil de Alajuela durante el segundo semestre del año 2021”, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de bachillerato en Ingeniería Industrial.

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

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

a)	ORIGINAL DEL TEMA	10%	10%
b)	CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES	20%	20%
C)	COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	30%	29%
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	18%
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEORICO	20%	18%
	TOTAL		95%

Atentamente,

Ing. Rolando José Molina Solís
Cédula identidad: 1 0957 0454.