

Design and Implementation of a Material Requirement Plan and a Total Productive Maintenance Plan to reduce costs in an aesthetic and regenerative medicine company, Trujillo-2023

Bonifaz Beltrán, Luis Esteban¹, De La Cruz Julón, Kasey Alliyah¹, and Castillo Cabrera, Rafael Luis Alberto²

¹Students at Universidad Privada del Norte, Peru, N00210715@upn.pe, N00205338@upn.pe

²Professor at Universidad Privada del Norte, Peru, rafael.castillo@upn.edu.pe

Abstract– The present work was elaborated with the purpose of implementing different process engineering tools in the modern regenerative medicine company in the city of Trujillo, Peru. The work included an initial diagnostic stage, where different problems were identified, such as incorrect planning for the requirement of medical supplies and deficient maintenance plan for machines. For the solution of these problems, two alternative solutions were proposed for each problem, which were evaluated with 6 concrete restrictions and the most optimal and appropriate one was selected, to determine which tools are best suited to the current context of the company. The tools implemented were Material Requirements Planning (MRP) and Total Productive Maintenance (TPM), and the results were compared with appropriate engineering standards to determine their impact. Finally, an annual cost reduction of S/1692.24 was obtained and at the same time the impact of the implementation of these tools was evaluated, obtaining an IRR of %54, an NPV of S/ 24,928.02 and a B/C of 5.5.

Keywords-- MRP, TPM, Regenerative Medicine, Implementation, Maintenance.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

Diseño e Implementación de un Plan de Requerimiento de Materiales y un Plan de Mantenimiento Productivo Total para reducir costos en una empresa de medicina estética y regenerativa, Trujillo-2023

Bonifaz Beltrán, Luis Esteban¹, De La Cruz Julón, Kasey Alliyah¹, y Castillo Cabrera, Rafael Luis Alberto²

¹Estudiantes Universidad Privada del Norte, Perú, N00210715@upn.pe, N00205338@upn.pe

²Docente Universidad Privada del Norte, Perú, rafael.castillo@upn.edu.pe

Resumen— El presente trabajo fue elaborado con el fin de implementar distintas herramientas de ingeniería de procesos en la empresa de medicina regenerativa moderna de la ciudad de Trujillo, Perú. El trabajo comprendió una etapa inicial de diagnóstico, donde se identificaron distintos problemas como incorrecta planeación para el requerimiento de insumos médicos y deficiente plan de mantenimiento de máquinas. Para la solución de estos, se propusieron dos alternativas de solución para cada problema, las cuales fueron evaluadas con 6 restricciones concretas y se seleccionó las óptimas y adecuadas, con el fin de determinar que herramientas se adecuan mejor al contexto actual de la empresa. Las herramientas implementadas fueron Plan de Requerimiento de Materiales (MRP) y Mantenimiento Productivo Total (TPM), y se compararon los resultados con estándares apropiados de ingeniería para determinar su impacto. Finalmente, se obtuvo una reducción anual de S/1692.24 en costos y a la vez se evaluó el impacto de la implementación de estas herramientas elaboradas, obteniendo un TIR de %54, un VAN de S/ 24.928,02 y un B/C de 5.5.

Palabras clave—MRP, TPM, Medicina Regenerativa, Implementación, Mantenimiento.

I. INTRODUCCIÓN

A. Realidad Problemática

Esta empresa de Medicina Estética y Regenerativa son consultorios médicos cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida de los pacientes, mediante la estimulación del proceso de autorregeneración y autorreparación de células, tejidos u órganos con tratamientos de Ozonoterapia y Plasma Rico en Plaquetas PRP. La empresa tiene como principal proveedor a Misperu S.A.C. quienes brindan insumos médicos de alta calidad necesarios para ofrecer el mejor servicio al cliente. Esta logra obtener ingresos mensuales de S/10, 255.00 soles y una utilidad de S/3,038.40 soles. Cuentan con profesionales altamente capacitados y especializados en Medicina Estética y Regenerativa. La calidad, efectividad e innovación que brinda la empresa en sus servicios logrará posicionarla como una de

las principales empresas de su rubro en todo el norte del Perú.

La incorrecta planeación para el requerimiento de insumos médicos, pues en el mes se pronosticaron 135 pacientes por lo cual se envió la lista para esa cantidad, sin embargo, los pacientes fueron 171, generando gastos adicionales por la compra express en la misma ciudad de Chimbote. Con una correcta planificación se gastaría 1936.84 mientras que una orden express 2097.54, habiendo una diferencia de 160.69 soles por mes.

Por otro lado, el deficiente plan de mantenimiento de máquinas expresado en las horas de paradas de máquinas, que se frecuentan al menos 3 veces al mes, representa una pérdida de 171 soles mensuales, y 95 soles por cada hora de parada, esto debido a que la empresa actualmente no cuenta con un mantenimiento productivo total y arreglar una parada de esta máquina requiere de un especialista con conocimientos especializados, debido a que, son máquinas modernas de un rubro de la salud poco convencional. Asimismo, por cada hora de parada, la empresa presenta 260 soles de utilidad perdida.

TABLA 1
RESUMEN DE COSTOS DE PROBLEMAS

Problema	Costo Mensual 2023
MRP	160.69 soles
TPM	171 soles

Aliaga & Lobato (2020), en su tesis “Diseño De Un Sistema De Mantenimiento Preventivo Para Aumentar La Disponibilidad De Los Equipos Médicos En El Área De Servicios Del Centro Médico María Belén S.R.L. – Cajamarca.” Aumentaron el OEE de los equipos estudiados de un 89% a un 94% [1].

Salvador (2020), en su tesis "Sistema de MRP y la productividad en sala de operaciones 2B del H.N.E.R.M.E. 2020". Se concluye si existe una correlación positiva muy fuerte y una relación significativa entre ambas ya que los usuarios tienen conocimiento, que mediante la implementación del Sistema de MRP [2].

B. Problema

¿Cuál es el impacto del diseño e implementación de MRP y TPM sobre los costos de la empresa?

C. Objetivo

Determinar el impacto del diseño e implementación de MRP y TPM sobre los costos de la empresa.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Diseño de la Investigación

La presente investigación es de carácter Experimental de grado Pre – Experimental, en donde la unidad de estudio consiste en el proceso de servicio médico estético y regenerativo de la empresa y la población fue constituida por 2 procesos, y 6 trabajadores en consultorio de dicha empresa.

A. Alternativas de Solución

Para lograr resolver los problemas presentados anteriormente, se plantearon dos alternativas integrales de solución:

TABLE 2
RESUMEN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Problema	Alternativas de solución	
Incorrecta planeación para el requerimiento de insumos médicos	Implementación de un Plan de Requerimiento de Materiales	Implementación de un Kardex
Deficiente plan de mantenimiento de máquinas	Implementación de un Plan de Mantenimiento Productivo Total	Implementación de un Análisis Modal de Fallos y Efectos

C. Identificación y descripción de Restricciones Realistas

Para elegir la alternativa de solución óptima para cada uno de los 2 problemas encontrados, se evaluaron a través de restricciones realistas, las cuales actúan como limitaciones y sirven como guía en la etapa de selección de alternativa de solución, considerando el objetivo de la investigación.

TABLE 3
CUADRO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN DE INCORRECTA PLANEACIÓN PARA EL REQUERIMIENTO DE INSUMOS MÉDICOS - 2023

Restricciones	Implementación del MRP	Implementación de Kardex
Costo de Implementación	S/ 540.00	S/ 270.00

Tiempo de Implementación	4 días	2 días
Accesibilidad	100%	100%
Funcionabilidad	96%	75%
Usabilidad	83%	67%
Sostenibilidad	83%	20%

TABLE 4
CUADRO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN DE DEFICIENTE PLAN DE MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS 2023

Restricciones	Implementación del TPM	Implementación de AMFE
Costo de Implementación	S/ 676.00	S/ 471.50
Tiempo de Implementación	6 días	4 días
Accesibilidad	90%	90%
Seguridad	83%	75%
Funcionabilidad	88%	83%
Usabilidad	85%	70%

C. Selección de la mejor alternativa

Después de completar en análisis comparativo de ambas propuestas de herramientas de mejora cada problema identificado, se escogió:

Para el primer problema de Incorrecta planeación para el requerimiento de insumos médicos, se eligió un Plan de Requerimiento de Materiales, el cual es un sistema diseñado para planificar y gestionar todos los materiales necesarios en un proceso de producción. Su objetivo es garantizar que no falte ningún elemento necesario para llevar a cabo los procesos, mediante la gestión del inventario disponible de manera eficiente. Este sistema de planificación, respaldado por computadora, permite generar una lista de las cantidades requeridas de materias primas, piezas, ensambles y sub-ensambles necesarios para llevar a cabo el PMP. Además, calcula los requisitos netos de los materiales y programa las compras teniendo en cuenta las órdenes actuales y los niveles de inventario disponibles. [3].

Para el problema de Deficiente plan de mantenimiento de máquinas y paradas de máquinas, se eligió la elaboración e implementación de un Plan de Mantenimiento Productivo Total, el cual se basa en 8 pilares importantes que permite establecer estrategias para el mejoramiento continuo de las capacidades y procesos de la empresa, de tal manera que, los equipos de producción estén siempre listos. Este es un mantenimiento gerencial que abarca puntos más específicos y está conformado por un mantenimiento planeado y autónomo, pero a su vez, relaciona al mantenimiento con lean manufacturing e integra a todos los miembros de la empresa para obtener 0 defectos, 0 accidentes y 0 fallos. [4].

III. DISEÑO

A. Plan de Requerimiento de Materiales

El MRP fue diseñado con el objetivo de incrementar la eficacia en la conservación de activos y la reducción de paradas imprevistas de procesos, de tal manera que se permitan reducir costes. [5].

1) Paso 1: Pronóstico Estacional

TABLA 5
PRONÓSTICO DEMANDA ESTACIONALIZADA

Año	Mes	Ventas	IE	Demanda Proyectada Estacionalizada
2023	enero	40	1.054	37
	febrero	30	0.820	28
	marzo	28	0.937	33
	abril	36	0.995	35
	mayo		0.937	33
	junio		1.112	39
	julio		0.937	33
	agosto		0.995	35
	setiembre		1.112	39
	octubre		0.878	31
	noviembre		1.054	37
	diciembre		1.171	41

TABLA 6
DEMANDA PRONOSTICADA POR SKU

Año	SKU	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2023	Bloqueo Paravertebral	0	0	0	0	0	1	1
	Consulta Medica	19	16	17	20	15	19	21
	Infiltración Intraarticular	4	4	2	0	3	2	1
	IPL Facial	1	1	0	2	0	0	0
	Ozonoterapia Estética	4	1	4	2	2	4	5
	Ozonoterapia Localizada	6	3	8	7	8	9	10
	Plasma Rico En Plaquetas Ozonizado	1	5	2	3	0	0	1
	Ultracavitación	3	2	1	5	2	2	2

Se emplea el método de pronóstico estacional para evidenciar que la demanda de la información histórica también está influenciada por el periodo. Después de llevar a cabo una regresión lineal para examinar la relación entre ambas variables, se obtuvo un coeficiente de determinación r^2 0.67, valor cercano a 1 y que debe ser igual o mayor a 0.65 [6]; por lo tanto, es posible emplear la información de cualquier año, dado que exhiben un comportamiento similar.

2) Paso 2: Plan Maestro de Producción

Se desarrolló el Plan Maestro de Producción con el objetivo de determinar el número de sesiones a atender y en qué semana del mes. El pronóstico para el mes de junio fue tomado en cuenta, la empresa no cuenta con un stock de seguridad y la capacidad de producción diaria es de 8 sesiones por día.

3) Paso 3: Registro de Inventario

Se determinan las cantidades de los componentes y materiales disponibles actualmente en la empresa. Además, se presenta el stock de seguridad, el tiempo de entrega (lead time), el tamaño de lote y las previsiones de entrada para cada uno de ellos.

3) Paso 4: Bill of Materials

TABLA 7
BILL OF MATERIALS BLOQUEO PARAVERTEBRAL

Bloqueo Paravertebral	Cantidad base	Sesión
Bloqueo Paravertebral x1	Batch	1.00
Aguja Hipodérmica 23 x 1 1/2	Unidad	2
Aguja Hipodérmica 30 x 1/2	Unidad	1
Lidocaína Ampolla sin epinefrina	ml	50
Batas	Unidad	1
Papel Higiénico	Unidad	1
Papel Toalla	Unidad	1
Sábana Estéril Descartable	Unidad	1
Guantes examinación	Unidad	1
Guante Látex	Unidad	1
Alcohol 70° (1L)	ml	50
Algodón 1kg	gr	25
Cloruro de Sodio 0.9% 100ml	ml	20
Mascarillas Quirúrgicas	Unidad	1
Spray Frío	ml	100
Kinesiology Tape	Unidad	1

TABLA 8
BILL OF MATERIALS CONSULTA MÉDICA

Consulta Medica	Cantidad base	Sesión
Consulta Médica x1	Batch	1.00
Papel Toalla	Unidad	1
Sábana Estéril Descartable	Unidad	1
Guantes examinación	Unidad	1
Mascarillas Quirúrgicas	Unidad	1

TABLA 9
BILL OF MATERIALS INFILTRACIÓN INTRAARTICULAR

Infiltración Intraarticular	Cantidad base	Sesión
Infiltración Intraarticular x1	Batch	1.00
Aguja Hipodérmica 23 x 1 1/2	Unidad	2
Aguja Hipodérmica 30 x 1/2	Unidad	2
Lidocaína Ampolla sin epinefrina	ml	50
Papel Toalla	Unidad	1
Sábana Estéril Descartable	Unidad	1
Guantes examinación	Unidad	1
Guante Látex	Unidad	1
Alcohol 70° (1L)	ml	50
Algodón 1kg	gr	25
Cloruro de Sodio 0.9% 100ml	ml	20

Esparadrado Hipoalergénico	Unidad	1
Mascarillas Quirúrgicas	Unidad	1
Spray Frío	ml	100

TABLA 10
BILL OF MATERIALS IPL FACIAL

IPL Facial	Cantidad base	Sesión
IPL Facial x1	Batch	1.00
Sábana Estéril Descartable	Unidad	1
Gel Conductor	ml	20
Guante Látex	Unidad	1
Alcohol 70° (1L)	ml	50

TABLA 11
BILL OF MATERIALS OZONOTERAPIA ESTÉTICA

Ozonoterapia Estética	Cantidad base	Sesión
Ozonoterapia Estética x1	Batch	1.00
Aguja Hipodérmica 30 x 1/2	Unidad	2
Agua Micelar	ml	100
Papel Toalla	Metro	1
Sábana Estéril Descartable	Unidad	1
Guantes examinación	Unidad	1
Guante Látex	Unidad	1
Alcohol 70° (1L)	ml	50
Algodón 1kg	gr	25
Mascarillas Quirúrgicas	Unidad	1

TABLA 12
BILL OF MATERIALS ULTRACAVITACIÓN

Ultracavitación	Cantidad base	Sesión
Ultracavitación x1	Batch	1.00
Aguja Hipodérmica 30 x 1/2	Unidad	1
Sábana Estéril Descartable	Unidad	1
Gel Conductor	ml	30
Guante Látex	Unidad	1
Alcohol 70° (1L)	ml	50
Algodón 1kg	gr	25

TABLA 13
BILL OF MATERIALS OZONOTERAPIA LOCALIZADA

Ozonoterapia Localizada	Cantidad base	Sesión
Ozonoterapia Localizada x1	Batch	1.00
Aguja Hipodérmica 23 x 1 1/2	Unidad	1
Aguja Hipodérmica 30 x 1/2	Unidad	2
Lidocaína Ampolla sin epinefrina	ml	50
Batas	Unidad	1
Papel Higiénico	Unidad	1
Papel Toalla	Unidad	1
Sábana Estéril Descartable	Unidad	1
Guantes examinación	Unidad	1
Lidocaína Gel 2% 30g	gr	20
Guante Estéril N°7	Unidad	1
Guante Látex	Unidad	1
Jeringa Tuberculina 2x 5/8	Unidad	1
Jeringa 20ml	Unidad	3
Jeringa 60ml	Unidad	1
Alcohol 70° (1L)	ml	50
Algodón 1kg	gr	25
Cloruro de Sodio 0.9% 100ml	ml	20

Mascarillas Quirúrgicas	Unidad	1
Spray Frío	ml	100
Curitas	Unidad	1
Sondas nelaton N° 14	Unidad	1

TABLA 14
BILL OF MATERIALS PLASMA RICO EN PLAQUETAS

Plasma Rico En Plaquetas Ozonizado	Cantidad base	Sesión
Plasma Rico En Plaquetas Ozonizado x1	Batch	1.00
Aguja Extracción	Unidad	1.00
Aguja Hipodérmica 21 x 1	Unidad	1.00
Aguja Hipodérmica 23 x 1 1/2	Unidad	2
Lidocaína Ampolla sin epinefrina	ml	50
Papel Toalla	Unidad	1
Sábana Estéril Descartable	Unidad	1
Guante Látex	Unidad	1
Jeringa 10 ml	Unidad	4
Jeringa 20ml	Unidad	1
Alcohol 70° (1L)	ml	50
Algodón 1kg	gr	25
Cloruro de Sodio 0.9% 100ml	ml	20
Esparadrado Hipoalergénico	Unidad	1
Mascarillas Quirúrgicas	Unidad	1
Tubo Muestra tapa celeste	Unidad	2
Tubo Vacuteiner	Unidad	1

5) Paso 5: Plan de Requerimiento de Materiales

Se elabora el Plan de Requerimiento de Materiales con el propósito de determinar la cantidad necesaria (cantidad neta) a solicitar de forma semanal. Durante la programación de cada una de las necesidades para la semana, se considera tanto el tamaño de lote como el tiempo de entrega (lead time). De esta manera, se asegura una gestión eficiente y adecuada del abastecimiento de materiales.

TABLA 15
MRP – CONSULTA MÉDICA

Consulta Médica (BATCH)					
¿Quién lo requiere?	Batch/sesión	1	2	3	4
Consulta Médica x1	1	5	5	5	5
Periodo	Inv. Inicial	1	2	3	4
Necesidades brutas		5	5	5	5
Entradas previstas		0	0	0	0
Inventario final	0	0	0	0	0
Necesidades netas		5	5	5	5
Pedidos planeados		5	5	5	5
Lanzamiento de ordenes		5	5	5	5

TABLA 16
MRP – LIDOCAÍNA AMPOLLA

Lidocaína Ampolla					
¿Quién lo requiere?	Batch/ton	1	2	3	4
Bloqueo Paravertebral	50	0	0	0	50
Infiltración Intraarticular	50	50	50	100	50
Ozonoterapia Localizada	50	100	100	50	100
Plasma Rico En Plaquetas	50	0	0	100	50

Ozonizado					
Periodo Inicial	Inv. Inicial	1	2	3	4
Necesidades brutas		150	150	250	250
Entradas previstas		0	0	0	0
Inventario final	0	50	0	50	0
Necesidades netas		150	100	250	200
Pedidos planeados		200	100	300	200
Lanzamiento de ordenes		100	300	200	0

Para los demás materiales y sku se realiza el mismo proceso dando como resultado las órdenes de aprovisionamiento.

6) Paso 6: Órdenes de Aprovisionamiento

Se resume en una lista todas las cantidades necesarias de los materiales cada semana, con los datos obtenidos del MRP.

TABLA 17
PROGRAMA DE PRODUCCIÓN JUNIO

PROGRAMA DE PRODUCCIÓN	SEMANA			
	1	2	3	4
Bloqueo Paravertebral	0	0	0	1
Consulta Medica	5	5	5	5
Infiltración Intraarticular	1	1	2	1
IPL Facial	1	1	0	0
Ozonoterapia Estética	2	2	0	1
Ozonoterapia Localizada	2	2	1	2
Plasma Rico En Plaquetas Ozonizado	0	0	2	1
Ultracavitación	1	1	1	1

TABLA 18
PROGRAMA DE COMPRAS

PROGRAMA DE COMPRAS	SEMANA			
	1	2	3	4
Aguja Extracción	0	2	1	0
Aguja Hipodérmica 21 x 1	0	2	1	0
Aguja Hipodérmica 23 x 1 1/2	4	7	6	0
Aguja Hipodérmica 30 x 1/2	11	7	10	0
Agua Micelar	0	0	400	0
Lidocaína Ampolla	100	300	200	0
Batas	2	1	3	0
Papel Higiénico	0	0	0	0
Papel toalla	10	10	12	0
Sábana Estéril Descartable	12	11	12	0
Gel Conductor	0	0	120	0
Guantes examinación	10	8	10	0
Lidocaína Gel 2% 30g	30	30	30	0
Guante Estéril N°7	2	1	2	0
Guante Látex (Talla S)	7	6	7	0
Jeringa Tuberculina 2x 5/8	2	2	1	2
Jeringa 10 ml	0	8	4	0
Jeringa 20 ml	6	5	7	0
Jeringa 60 ml	2	1	2	0
Alcohol 70° (1L)	0	0	1,000	0
Algodón 1kg	0	1,000	0	0
Cloruro de Sodio 0.9%	100	100	100	0
Esparadrappo Hipoalergénico	3	3	3	0
Mascarillas Quirúrgicas	12	9	12	0
Spray Frío	250	250	500	0

Curitas	0	0	0	0
Sondas nelaton N° 14	2	1	2	0
Kinesiology Tape	0	0	1	0
Tubo Muestra tapa celeste	4	2	4	0
Tubo Vacuteiner	2	1	2	0

Para el problema de Incorrecta planeación para el requerimiento de insumos médicos, se ha considerado el estándar de ISO 9001:2008 "La organización debe planificar y desarrollar los procesos necesarios para la realización del producto. La planificación de la realización del producto debe ser coherente con los requisitos de los otros procesos del sistema de gestión de la calidad", el cual se encuentra en la página 13 de la norma. [7].

TABLA 19
FASES DEL PLAN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES

Problema	Estándar	Indicador	Fórmula	V.A	V.E
Incorrecta planeación para el requerimiento de insumos médicos	ISO 9001:2008	N° de pacientes no atendidos al mes con insumos comprados a tiempo	Sumatoria de pacientes no atendidos al mes con insumos comprados a tiempo	36	0

Se tiene que actualmente la empresa presenta un incumplimiento de atención a 36 pacientes debido al deficiente plan de requerimiento de insumos médicos.

B. Plan de Mantenimiento Productivo Total

El Mantenimiento Productivo Total busca eliminar las fallas en las máquinas, reducir accidentes y paros de producción, con el fin de optimizar las líneas producción, reducir costos y evitar lucros cesantes [8].

1) Fases del TPM

TABLA 20
FASES DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

Fase	Etapas	Aspectos de Gestión
Preparación	Decisión de aplicar el TPM en la empresa	La alta dirección hace público su aceptación para implementar el programa de TPM a través de reuniones internas y capacitaciones al personal.
	Información del TPM	Campañas informativas a todos los niveles para la introducción al TPM
	Estructura promocional del TPM	Formar comités especiales en cada nivel para promover el TPM.
	Objetivos y políticas básica	Analizar las condiciones existentes, establecer objetivos, proveer resultados y establecer indicadores

	Plan Maestro de desarrollo del TPM	Preparar planes detallados con las actividades a desarrollar y los plazos de tiempo de entrega
Arranque	Arranque formal del TPM	Reunión con clientes, proveedores y empresas o entidades relacionadas
Implantación	Mejora efectiva del equipo	Selección de los equipos críticos con pérdidas crónicas, para analizar causas y efectos para poder actuar
	Desarrolla un programa de mantenimiento autónomo	Implica la realización de un mantenimiento diario por parte de las operaciones que utilizan el equipo con un programa básico y formación adecuada
	Desarrolla un programa de mantenimiento planificado	Mantenimiento periódico o con parada, correctivo y predictivo
Consolidación	Formación para elevar la capacidad de operación y mantenimiento	Se entrenan a los líderes de cada grupo para que luego compartan sus conocimientos adquiridos con el resto del equipo
	Consolidación del TPM y elevación de metas	Mantener y mejorar los resultados obtenidos, mediante un programa de mejora continua que puede basarse en la explicación de un ciclo PDCA

2) Definición de la máquina crítica

En el TPM, se determinó las máquinas que intervienen principalmente en la pérdida de utilidades o afectan directamente a los sobrecostos por mantenimiento de máquinas. Se desarrolla los criterios a considerar para un análisis de una matriz de criticidad y se elabora un listado de las máquinas usadas para el tratamiento regenerativo de esta empresa. En relación con estas tablas, se elabora la matriz de criticidad, consideran A criticidad alta, B criticidad media y C poca criticidad y se obtiene la que servirá para evaluar y centrar el mantenimiento autónomo y planeado en las máquinas críticas Equipo de Ozono Air Purifier, 03 Concentration Chart y Centrífuga Borosil Germany, 800D.

TABLA 21
TABLA DE CRITERIOS DE CRITICIDAD PARA IDENTIFICAR LA MÁQUINA CRÍTICA EN LA EMPRESA

Criterio para Evaluación de la Criticidad de Máquinas y Equipos						
Nivel de Criticidad	Seguridad y Medio Ambiente	Calidad y Productividad	Tasa de Ocupación	Oportunidad de Producción	Frecuencia de Rotura	Mantenibilidad
A	Accidentes personales, agresión al medio ambiental y daños materiales	Productos y/o Servicios defectuosos, reducción de la velocidad de producción	24 horas al día	Cesa todo el proceso	Intervalo menos de seis meses	El tiempo y/o los costos de las reparaciones son altos

B	Exposición a riesgos de accidentes al medio ambiente o del patrimonio	Variación de la calidad o de la producción	Dos turnos u horario de oficina	Cesa parte del proceso	En promedio una vez al año	El tiempo y/o los costos de las reparaciones son soportables
C	Sin riesgo	No afecta	Ocasionalmente o no forma del proceso productivo	No afecta	Rara vez ocurre	El tiempo y/o los costos de las reparaciones son irrelevantes

TABLA 22
MÁQUINARIA QUE INTERVIENE EN EL PROCESO

Equipos de Medicina Regenerativa			
Ambiente o UPSS	Nombre del Equipo	Marca del Equipo	Modelo
	Equipo de Ozono	Air Purifier	03 Concentration Chart
Medicina Regenerativa	Equipo IPL Centrífuga	Promi IPL Borosil Germany	PL-2000 800D
	Equipo de Ultracavitación	Athenea	Afrodita Essential

TABLA 23
REGISTRO DE CRITICIDAD DE LAS MÁQUINAS

Registro de Criticidad de las Máquinas							
Máquina	Seguridad y Medio Ambiente	Calidad y Productividad	Tasa de Ocupación	Oportunidad de Producción	Frecuencia de Rotura	Mantenibilidad	CRITICIDAD
Equipo de Ozono Air Purifier, 03 Concentration Chart	B	A	A	A	C	D	A
Equipo IPL Promi IPL, PL-2000	C	B	B	C	C	A	C
Centrífuga Borosil Germany, 800D	C	A	B	B	B	B	A
Equipo de Ultracavitación Athenea, Afrodita Essential	B	C	A	B	A	A	B

En la tabla 23, se han tomado en cuenta los criterios de criticidad expresados anteriormente para evaluar y determinar la criticidad de los 4 equipos de medicina regenerativa. Y de acuerdo con los parámetros empleados, se determinó que, los equipos con mayor criticidad son el Equipo de Ozono Air Purifier, 03 Concentration Chart y Centrífuga Borosil Germany, 800D, los cuales son usados en mayor cantidad de

procesos, y por lo tanto su mal uso genera una amenaza para las operaciones de la empresa.

3) Material y guías de aplicación del TPM

TABLA 24
REGISTRO DE CRITICIDAD DE LAS MÁQUINAS
ESTABLECIMIENTO DE ESTÁNDARES Y CONTROL VISUAL.

Parte del Equipo	Problema	Acción Correctiva	Frecuencia	Tiempo	Encargado
Motor eléctrico	Suciedad con polvo	Uso de franela-limpieza	diariamente	10 minutos	Operario
Tapa de refinador	Suciedad con licor de cacao	Uso de trapo-limpieza	diariamente	10 minutos	Operario
Rodamientos	Desgastados	lubricación	mensual	20 minutos	Operario
Panel de control	Objetos dentro del panel	Reubicación de objetos extraños	diariamente	10 minutos	Operario
Pernos del cabezal	Desajustados	ajuste	diariamente	30 minutos	Operario
Tornillos de tapa del refinador	Desajustados	ajuste	diariamente	30 minutos	Operario
Medidor de temperatura	Dañado	Comunicación con el Dpto de mantenimiento-reemplazo	mensual	30 minutos	Dpto Mantenimiento

Para la aplicación e implementación del TPM, se hacen uso de guías de mantenimiento preventivo y autónomo, considerando las fases mencionadas anteriormente. En la figura 1, se observa un modelo de guía elaborado para el equipo de Ozono Air Purifier, 03 de Concentration Chart, el cual fue identificado como máquina crítica según el análisis de criticidad de máquinas.

Fig. 1. Modelo de Guía de Mantenimiento Autónomo

		Equipo de Ozono Air Purifier, 03 Concentration Chart		Área:	Medicina Regenerativa
Código: 00001				Inventario N°:	1
			Modelo:	03 Concentration Chart	
Proceso de adquisición: Importación extranjera		Indicaciones:	Serie: 1	Tipo:	Equipo de Ozono
Fecha: 01/06/2022	Adquisición:	Capacidad: 1 hasta 107 ugrs/ml	Altura manométrica:	Criticidad:	A
	Instalación: 05/06/2022	Fabricante: Ozono Health	Año de fabricación: 2022	Velocidad:	12 voltios
Características técnicas			Principales partes sobre plano		
Concentraciones de salida de ozono de 1 hasta 107 ugrs/ml			1 Motor	7	
Bomba de vacío integrada de 8L/min de capacidad			2	8	
Destructor de ozono integrado			3	9	
Tubo corona de cristal de cuarzo y titanium			4	10	
Amperaje	Tensión (Voltaje)	PH	RPM	5	11
15 W	12 Voltios	70	2000	6	12
Observaciones:					
Peso		2.3 kgrs			
Dimensiones		25*19*9cms			

Para la correcta implementación, se elabora un cronograma general para la aplicación del Mantenimiento Productivo Total en esta empresa de medicina, considerando el formato presentado en la Tabla 25, tomando en consideración las 4 etapas de este mantenimiento: Preparación, Arranque, Implantación, Consolidación, las cuales fueron distribuidas entre los ingenieros a cargo, y autorizada por la gerenta general de la empresa.

TABLA 25
CRONOGRAMA DE TPM

N°	Denominación	Encargado	CRONOGRAMA DE APLICACIÓN DEL TPM EN REGENERARTE																																	
			Abril			Mayo			Junio			Julio			Agosto			Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre									
Etapas	Frecuencia		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	Preparación	Decisión de aplicar el TPM en la empresa	Ing. De La Cruz																																	
		Información del TPM	Ing. De La Cruz																																	
		Estructura promocional del TPM	Ing. De La Cruz																																	
		Objetivos y políticas básicas	Ing. De La Cruz																																	
		Plan Maestro de desarrollo del TPM	Ing. De La Cruz																																	
2	Arranque	Arranque formal del TPM	Ing. León e Ing. De La Cruz																																	
		Mejora efectiva del equipo	Ing. De La Cruz																																	
3	Implantación	Desarrolla un programa de mantenimiento autónomo	Ing. De La Cruz																																	
		Desarrolla un programa de mantenimiento planificado	Ing. De La Cruz																																	
		Formación para elevar la capacidad de operación y mantenimiento	Ing. De La Cruz																																	
4	Consolidación	Consolidación del TPM y elevación de metas	Ing. León e Ing. De La Cruz																																	

Fecha de la ejecución del Mantenimiento: Fecha de inicio: 16 de Mayo - Fecha de termino: 12 de Junio

Firma del Encargado de Implementación del Mantenimiento:

OBSERVACIONES

En la implementación también participan: Ing. Bonifaz, Ing. Leon, Ing. Alva, Ing. Escalante e Ing. Hornos

Se capacitará al personal para el dominio de las guías

En el plan de capacitación, se registrará el listado de personal capacitado

FRECUENCIA: S= Semanal, Q=Quincenal, M=Mensual, Sm=semestral

CLAVE: O= A Inspecciones, V= Conforme X= Con falla

Para la herramienta de Plan de Mantenimiento Productivo Total se ha empleado El OEE es un método de medición de performance productiva que integra datos de la disponibilidad del equipamiento, de la eficiencia de la performance y de la tasa de calidad que se logra. Estos tres datos son calculados de la siguiente manera:

- a) Disponibilidad = $\text{Tiempo de operación disponible} / \text{Tiempo de operación total}$
- b) Performance = $\text{Output total} / \text{Output potencial}$

b) Calidad = Producción de calidad producida / Producción total

$$OEE = \text{Disponibilidad} * \text{Performance} * \text{Calidad}$$

Si integramos a estos factores como subconceptos de un concepto principal vamos a encontrar la fundamentación de esta ecuación y con ello tendremos el marco de seguridad que nos permite tomar el conocimiento como seguro”, ubicado en la página 23 ubicado en el libro Overall Equipment Effectiveness [9] y calculado en la tabla 30.

TABLA 26
ESTÁNDAR DE DEFICIENTE PLAN DE MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS

Problema	Estándar	Indicador	Fórmula	V.A	V.E
Deficiente plan de mantenimiento de máquinas	OEE: overall equipment effectiveness (2006)	% de OEE obtenido al mes	OEE = disponibilidad x calidad x rendimiento al mes	60%	85%

Para el estándar correspondiente el valor estándar máximo es de 85% de acuerdo con el OEE, Overall Equipment Effectiveness, es decir, el funcionamiento de sus máquinas puede llegar a ser bueno, más no excelente. Sin embargo, la empresa actualmente tiene paradas de máquinas y por ende un 60% de valor actual de OEE. Finalmente, el valor implementado es de 90%.

En la Tabla 27 se calcula la Disponibilidad, tomando en base el tiempo total de operación inicial, tiempo de paradas, alimentación y tiempo de operación en la situación inicial de la empresa. Después de la implementación del TPM, como se muestra también en la Tabla 27, se logró aumentar la disponibilidad al 97% considerando los mismos cálculos.

En la Tabla 28 se calcula el Rendimiento, considerando la tasa de producción estándar y la tasa de producción actual expresada en pacientes por año. Y se logró un cálculo inicial del 81%, el cuál mejoró a un 98% después de la implementación.

En la Tabla 29 se calcula la Calidad y se considera la cantidad de pacientes programados al año, la cantidad de pacientes no atendidos y la cantidad de pacientes atendidos. El primer cálculo fue de 75% y tras la implementación del TPM, se obtuvo 94% de calidad.

TABLA 27
DISPONIBILIDAD PARA CALCULAR EL OEE

Disponibilidad					
Disponibilidad Inicial			Disponibilidad Final		
Tiempo total de operación	1152	hrs/año	Tiempo total de operación	1152	hrs/año
Tiempo paradas	359	hrs/año	Tiempo paradas	24	hrs/año

Alimentación	100	hrs/año	Alimentación	8	hrs/año
Tiempo de operación	693	hrs/año	Tiempo de operación	1120	hrs/año
Tiempo de operación			Tiempo de operación		
Tiempo total de Operación		60%	Tiempo total de Operación		97%

TABLA 28
RENDIMIENTO PARA CALCULAR EL OEE

Rendimiento					
Rendimiento Inicial			Rendimiento Final		
Tasa de producción estándar	3456	pacientes/año	Tasa de producción estándar	3456	pacientes/año
Tasa actual de producción	2800	pacientes/año	Tasa actual de producción	3400	pacientes/año
Tasa actual de producción			Tasa actual de producción		
Tasa de producción estándar		81%	Tasa de producción estándar		98%

TABLA 29
CALIDAD PARA CALCULAR EL OEE

Calidad					
Calidad Inicial			Calidad Final		
Cantidades de pacientes programados	3456	pacientes/año	Cantidades de pacientes programados	3456	pacientes/año
Cantidades de pacientes no atendidos	880	pacientes/año	Cantidades de pacientes no atendidos	228	pacientes/año
Cantidades de pacientes atendidos	2576	pacientes/año	Cantidades de pacientes atendidos	3236	pacientes/año
Cantidades de pacientes atendidos y satisfechos			Cantidades de pacientes atendidos y satisfechos		
Cantidades de pacientes programados		75%	Cantidades de pacientes programados		94%

La Tabla 30 contiene los indicadores finales obtenidos en un primer escenario, y la mejora posterior a la implementación de una herramienta de Mantenimiento Productivo Total. La Efectividad Global de Equipos (OEE) encontrada en el primer análisis realizado a la empresa, fue de 60%, considerando que se presentaban diversas paradas de máquina en la producción, causando pacientes desatendidos. Tras la implementación del TPM, haciendo uso de las guías presentadas anteriormente y considerando el cronograma con las 4 etapas principales de Mantenimiento Productivo Total, se logró obtener un OEE del 90%, considerado excelente para la empresa.

TABLA 30
CÁLCULO TOTAL DEL OEE INICIAL VS FINAL

Efectividad Global de Equipos (OEE)	
OEE = Disponibilidad x Rendimiento x Calidad	
OEE Inicial	60%
OEE Final	90%

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Evaluación Económica

Para el análisis de la evaluación económica se detallan las inversiones realizadas para la implementación de las 2 herramientas propuestas como solución para cada problema encontrado.

TABLA 31
EGRESOS

Mes	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov
Inversión MRP	S/ 540.00					
Inversión TPM	S/ 676.00					
Gastos en TPM		S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00
Total egresos	S/ 1,216.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00

Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total
S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	
S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 35.00	S/ 1,636.00

TABLA 32
BENEFICIOS

Beneficios	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov
Beneficio MRP		S/ 49.10	S/ 49.10	S/ 49.10	S/ 49.10	S/ 49.10
Beneficio TPM		S/ 86.67	S/ 86.67	S/ 86.67	S/ 86.67	S/ 86.67
Total beneficios	S/ 0.00	S/ 135.77	S/ 135.77	S/ 135.77	S/ 135.77	S/ 135.77

Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total
S/ 49.10	S/ 49.10	S/ 49.10	S/ 49.10	S/ 49.10	S/ 49.10	S/ 49.10	S/ 589.20
S/ 86.67	S/ 86.67	S/ 86.67	S/ 86.67	S/ 86.67	S/ 86.67	S/ 86.67	S/ 1,040.00
S/ 135.77	S/ 135.77	S/ 135.77	S/ 135.77	S/ 135.77	S/ 135.77	S/ 135.77	S/ 1,629.20

TABLA 33
FLUJO ANUAL DE CAJA

Mes	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov
Flujo mensual de caja	-S/ 1,216.00	S/ 100.77	S/ 100.77	S/ 100.77	S/ 100.77	S/ 100.77

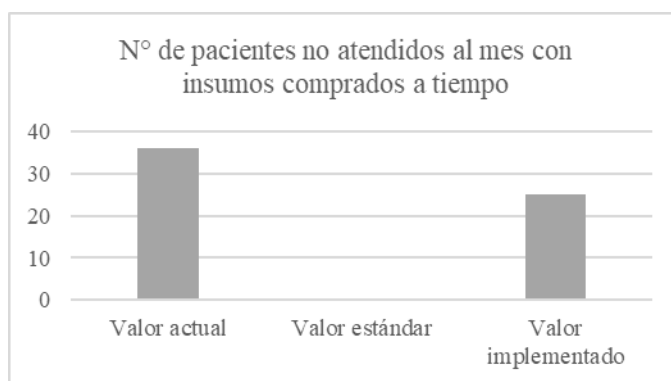
Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total
S/ 100.77	S/ 100.77	S/ 100.77	S/ 100.77	S/ 100.77	S/ 100.77	S/ 100.77	-S/ 6.80

A través de la aplicación de las propuestas y herramientas de mejora de determina que es viable, obteniendo una tasa mínima de retorno (TMAR) de 1.53% obtenido con una tasa del 18% del Banco Bilbao Vizcaya Argentaria Perú. Además, se obtiene un TIR de 54%, el resultado es bueno porque es mayor a 0. El VAN de la propuesta es de S/ 24928.02 y se obtiene un B/C de S/5.54.

B. Discusión de Resultados

Para el primer problema encontrado de Incorrecta planeación para el requerimiento de insumos médicos, según la ISO 9001, la planificación de la realización del producto debe ser coherente con los requisitos de los otros procesos del sistema de gestión de la calidad". Y para tratar de lograr ello es que se utiliza la herramienta Sistema MRP. Nuestro valor estándar fue de 0 insumos médicos. Este valor fue comparado con la realidad actual de la empresa, y con el soporte de la data del mes de mayo, se tuvo 36 pacientes no atendidos. Por último, al desarrollar la implementación de la herramienta sistema MRP en la empresa se obtuvo para el último mes de 25 pacientes no atendidos al mes con insumos comprados a tiempo que con comparación al valor actual que tenía la empresa se logra visualizar una mejora del 31% (ver Figura 1).

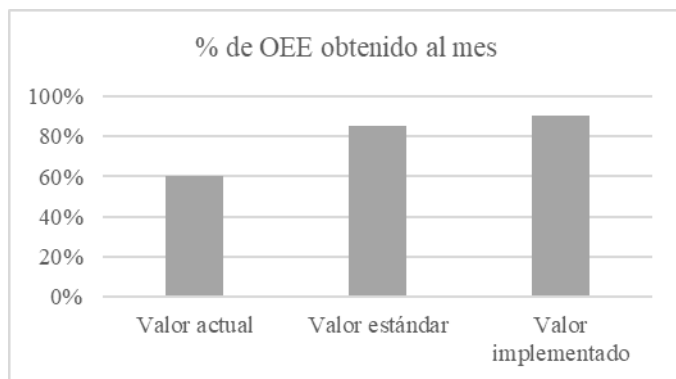
Fig. 2. Comparación de Resultados de MRP



Para el Segundo problema de deficiente plan de mantenimiento y paradas de máquina en la empresa. Para garantizar la efectividad del TPM, se evaluó el indicador de OEE, en el cual, si integramos los factores Disponibilidad, Calidad y Rendimiento como subconceptos de un concepto

principal vamos a encontrar la fundamentación de esta ecuación y con ello tendremos el marco de seguridad que nos permite tomar el conocimiento como seguro” [10]. En este, obtuvimos un estándar de 60% de Overall Equipment Effectiveness. Este valor fue comparado con la realidad actual de la empresa en el mes de mayo, lo que nos da un valor de OEE de 85%. Por último, al desarrollar la implementación de la herramienta TPM en la empresa se obtuvo para el último mes 90% de OEE con comparación al valor actual que tenía la empresa se logra visualizar una mejora del 30%. (ver Figura 2).

Fig. 3. Comparación de Resultados de TPM



B. Conclusiones

- Se implementó un Plan de Requerimiento de Materiales y un Plan de Mantenimiento Productivo total para solucionar los problemas identificados.
- Se determinó el impacto del diseño e implementación de MRP y TPM para la reducción de costos operacionales de la empresa, fue positivo generando un beneficio anual de s/. 24 928.02.
- Se realizó un diagnóstico a las áreas de producción, logística y mantenimiento de la empresa, y se pudo identificar los problemas que afectaban a esta empresa, los cuales son la incorrecta planeación para el requerimiento de insumos y el deficiente plan de mantenimiento de máquinas.
- Se cuantificaron y monetizaron los problemas, de los cuales se pudo identificar que la incorrecta planeación para el requerimiento de insumos médicos, el cual generaba que 36 pacientes no sean atendidos al mes con insumos comprados a tiempo teniendo un impacto económico negativo de 160.69 soles por mes. Además, el deficiente plan de mantenimiento de máquinas, la empresa presentaba un OEE del 60% el cual generaba un impacto económico negativo de 260 al mes.
- Se diseñaron las alternativas de solución para cada problema identificado los cuales son; el MRP para la incorrecta planeación para el requerimiento de

insumos médicos y TPM para el deficiente plan de mantenimiento para las máquinas.

- Se determinó el impacto económico y no económico de las alternativas de solución para cada problema identificado, logrando concluir que esta implementación es viable, debido a que los indicadores tales como el VAN de S/ 24 928,02 que es mayor a S/ 0, la TIR de 52% mayor a la TMAR y la relación costo/beneficio de S/ 5,54 mayor a S/ 1. Respecto al impacto no económico se puede mencionar para el número de pacientes no atendidos al mes con insumos comprados a tiempo se redujo un 30,56% pasando de 36 a 25, para el % OEE obtenido al mes se incrementó en un 50% pasando de 60% a 90%.
- Se identificó estándares apropiados de Ingeniería como ISO 9001:2008 y OEE: overall equipment effectiveness (2006).

REFERENCIAS

- [1] Aliaga, J. L., & Lobato, J. D. (2020). Diseño de un sistema de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de los equipos médicos en el área de servicios del Centro Médico María Belén S.R.L. – Cajamarca. Obtenido e <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24280>
- [2] Salvador, L. (2021). Sistema de MRP y la productividad en sala de operaciones 2B del H.N.E.R.M.E. 2020 - Lima (Tesis de maestría). Recuperado de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/62405/Salvador_FRA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [3] Aguirre, M. (2021) Sistema MRP, qué es y qué le aporta a tu proceso de producción. Recuperado de <https://www.appvizer.es/revista/organizacion-planificacion/mrp/mrp>
- [4] Quiroz-Flores, J. C., & Vega-Alvites, M. L. (2022). Review lean manufacturing model of production management under the preventive maintenance approach to improve efficiency in plastics industry smes: a case study. *South African Journal of Industrial Engineering*, 33(2), 143-156.
- [5] Bustos Flores, Carlos Enrique, & Chacón Parra, Galia Beatriz (2007). El MRP En la gestión de inventarios. *Visión Gerencial*, (1),5-17
- [6] M. Díaz, Estadística inferencial aplicada, 23a ed., Colombia, Bogotá: Editorial Universidad del Norte, 2019, pp. 236.
- [7] ISO 9001. (2008). Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos. Recuperado de https://transparencia.produce.gob.pe/images/stories/Repositorio/transparencia/proyectos-de-inversion/niveles-de-servicio/2021/IMARPE/NS/ISO_Internacional_9001_2008_Espanol_Traduccion_Oficial_Sin_Empresa.pdf
- [8] Bonifácio, M. A., & Martins, A. C. G. (2021). Resultados da aplicação da manutenção autônoma na mitigação da geração de resíduos: Estudo de caso em empresa calçadista de Jaú/SP. *Gestão & Produção*, 28. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2020v28e5519>
- [9] Teeuwen, B. (2010). Lean for the public sector: The pursuit of perfection in government services. CRC Press. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=B4LPRhjWCn8C&oi=fnd&pg=PT13&dq=Lean+for+the+Public+Sector&ots=qL1nqOzY4R&sig=TfUkXFptzFGr3i3AM9xHt69hl2w#v=onepage&q=Lean%20for%20the%20Public%20Sector&f=false>
- [10] Belohlavek, P. (2006). OEE: overall equipment effectiveness. Blue Eagle Group. Recuperado de [chrome-extension://faidnbmnnnibpcajpcgclefndmkaj/https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25249/Tesis%20Alejandra%20Llanos%20Total.pdf?sequence=13](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25249/Tesis%20Alejandra%20Llanos%20Total.pdf?sequence=13)