



**Levantamiento de matriz de criticidad para el área de metálicos de la empresa Prodevases
S.A.S**

Cristian Giraldo Aguilar

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Sebastián López Gómez
Ingeniero Mecánico

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica
Medellín, Antioquia.
2023

Cita

(Giraldo Aguilar, 2023)

Referencia

Giraldo Aguilar C. (2023). *Matiz de criticidad para área de metálicos de la empresa Prodenvasas S.A.S* [Trabajo de grado]. Universidad de Antioquia, Medellín.

Estilo APA 7 (2020)



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

Vicerrectoría de Docencia



Sistema
de Bibliotecas

Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Pedro León Simanca.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	8	
Abstract	10	
Introducción	12	
1	Objetivos	15
1.1	Objetivo general	15
1.2	Objetivos específicos	15
2	Marco teórico	16
2.1	Método implementado	16
3	Metodología	18
3.1	Áreas	18
3.1.1	Descripción de los equipos	19
3.1.1.1	Troquelado	19
3.1.1.2	Litografía	20
3.1.1.3	Aluminio	22
3.1.1.4	Ensamble	23
3.2	Recopilación de información.	24
3.3	Matriz de valoración de riesgos.	24
3.3.1	Matriz de consecuencias	25
3.3.1.1	Factores de criticidad a considerar	25
3.3.1.2	Niveles de riesgo	25
3.3.1.3	Puntaje por nivel.	26
3.3.2	Matriz de frecuencia.	26
3.3.2.1	Valores de riesgo.	26
3.3.2.2	Rango de frecuencia.	27

3.3.3	Matriz de valoración del riesgo resultante	28
3.4	Evaluación de máquinas críticas.	28
3.4.1	Severidad	29
3.4.2	Valor de frecuencia.	29
3.4.3	Calificación de las líneas de producción.	29
4	Resultados	32
4.1	Máquinas críticas	32
4.2	Análisis de elementos críticos	33
5	Conclusiones	35
	Referencias	36

Lista de tablas

Tabla 1 Líneas de producción (metálicos)	18
Tabla 2 Encuesta factores de criticidad	25
Tabla 3 Niveles de criticidad por factor y consecuencias.	26
Tabla 4 Valores de riesgo.....	27
Tabla 5 Rango de niveles de la matriz de frecuencia.	27
Tabla 6 Matriz de frecuencia.....	28
Tabla 7 Matriz de riesgo.....	28
Tabla 8 Tabla de valores de frecuencia por equipos	29
Tabla 9 Criticidad de las líneas por fallas	30
Tabla 10 Criticidad de las líneas por ajustes	30
Tabla 11 Fallas de interés de la prensa F1-1	33
Tabla 12 Falla de interés Prensa HOE.....	34
Tabla 13 Falla de interés L3	34

Lista de figuras

Figura 1 Cortadora de hojas a partir de bobinas de acero	19
Figura 2 Proceso de embutición.....	20
Figura 3 Troquel de tapa de 1galón.....	20
Figura 4 Horno Barnizadora.....	20
Figura 5 Prensa HOE de litografía.....	21
Figura 6 Prensa de conversión (Easy Open)	22
Figura 7 Línea 2PC	23
Figura 8 Paletizador línea 3.....	23

Siglas, acrónimos y abreviaturas

L1	Línea uno
L2B	Línea 2
L2A	Línea 2 A
A1-1	Anillo de galón
A1-4	Anillo de cuarto de galón
T1-1	Tapa de galón
F1-1	Fondo de galón
F1-4	Fondo de cuarto de galón
T1-4	Tapa de cuarto de galón
F401	Fondo de 401

Resumen

En el área de mantenimiento es útil tener herramientas que permitan la correcta planeación de las intervenciones a los equipos, se busca contar siempre con las máquinas que son un cuello de botella en la compañía, y para garantizar su disponibilidad se debe idear un plan enfocado en preparar correctamente el mantenimiento anticipándose a los eventos, esto con el fin de evitar retrasos en la producción, y cumplir con los tiempos de entrega a los clientes.

Por medio del historial se pueden saber algunas de las fallas más comunes, por eso es importante hacer un seguimiento de las intervenciones a los equipos, y con esto evitar paros no programados en el futuro, además el reporte de las bitácoras de las maquinas por parte del personal mejora la incertidumbre, ya que se tiene mayor certeza de las fallas, de sus consecuencias y de las probabilidades de ocurrencia.

De acuerdo con las diferentes características de las maquinas se pueden ubicar en tres o más niveles de riesgo, y con base a esto se puede tomar decisiones del mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo que se le debe realizar a las líneas de producción y cuando se deben intervenir, ya que se debe tener en cuenta la programación por parte de ventas para el despacho de ciertas referencias que impliquen la disponibilidad de algunos equipos en específico, y con este programa planear intervenciones de tal forma que se minimice la probabilidad de que ocurra algún evento que pueda afectar los tiempos de entrega.

Teniendo en cuenta los diferentes factores que determinan el nivel de riesgo en el que se encuentra un equipo, se puede determinar la planeación del mantenimiento adecuada, para esto se hace uso de los datos históricos que se han recolectado en el programa “Elemental”, de esta manera se puede conocer las condiciones actuales de cada una de las máquinas y en base a esto tomar decisiones.

A partir de la información con la que se cuenta de datos históricos se desarrollara una matriz de riesgo la cual ayudara a planear las diferentes estrategias para intervenir los equipos según las condiciones de productos, procesos, y maquinas, de esta manera se disminuye la probabilidad de falla y aumenta la disponibilidad de las líneas del área de metálicos de la empresa.

Para llevar a cabo la elaboración de la matriz se hará uso de la base de datos de la compañía, la cual tiene información desde el 2020 hasta el 2022 (3 años), allí se han ingresado las frecuencias

y tiempos de fallas asociadas a cada máquina, estos datos son suministrados por los mismos operarios y mecánicos los cuales ingresan a la red el estado actual de los equipos.

Posteriormente se le dará un orden de jerarquía a las máquinas y se identificarán en los niveles de riesgo y de probabilidad de ocurrencia, luego se evaluarán sus consecuencias teniendo en cuenta los intereses de la compañía, esto servirá para la creación de la matriz (severidad de consecuencia versus probabilidad del incidente), lo que ayudará a la toma de decisiones para el área de mantenimiento.

Palabras clave: matriz, criticidad, mantenimiento, históricos, ensamble, litografía, disponibilidad, troquelado

Abstract

In the maintenance area it is useful to have tools that allow the correct planning of interventions to the equipment, it is always sought to have the machines that are a bottleneck in the company, and to ensure their availability a plan should be devised focused on correctly preparing the maintenance in anticipation of events, this in order to avoid delays in production, and meet delivery times to customers.

By means of the history it is possible to know some of the most common failures, that is why it is important to follow up the interventions to the equipment, and with this avoid unscheduled stops in the future, also the report of the logs of the machines by the personnel improves the uncertainty, since there is greater certainty of the failures, of their consequences and of the probabilities of occurrence.

According to the different characteristics of the machines, they can be placed in three or more risk levels, and based on this it is possible to make decisions on preventive, predictive and corrective maintenance to be performed on the production lines and when to intervene, since it is necessary to take into account the programming by sales for the dispatch of certain references that imply the availability of some specific equipment, and with this program to plan interventions in such a way as to minimize the probability of an event occurring that could affect delivery times.

Taking into account the different factors that determine the level of risk in which a piece of equipment is located, it is possible to determine the appropriate maintenance planning, making use of the historical data that have been collected in the "Elemental" program, in this way it is possible to know the current conditions of each of the machines and based on this make decisions.

Based on the historical data, a risk matrix will be developed, which will help to plan the different strategies to intervene the equipment according to the conditions of products, processes, and machines, thus reducing the probability of failure and increasing the availability of the lines in the metallurgy area of the company.

To carry out the elaboration of the matrix, the company's database will be used, which has information from 2020 to 2022 (3 years), there the frequencies and times of failures associated with each machine have been entered, these data are provided by the same operators and mechanics who enter to the network the current status of the equipment.

Subsequently, a hierarchy order will be given to the machines, and they will be identified in the levels of risk and probability of occurrence, then their consequences will be evaluated taking into account the interests of the company, this will serve for the creation of the matrix (severity of consequence versus probability of the incident), which will help to make decisions for the maintenance area.

Keywords: matrix, criticality, maintenance, historical, assembly, lithography, availability, die-cutting

Introducción

La empresa PRODENVASES S.A.S fue fundada el 22 de junio de 1966 en la Ciudad de Medellín con el propósito de suplir la demanda de envases plásticos, de aluminio y hojalata, para cualquier uso. Hace parte del grupo COMECA, una multilatina líder en la industria del empaque con más de cuarenta años de trayectoria y que tiene presencia en nueve países desde México hasta Argentina, con 25 fábricas que se dedican a la elaboración de empaques de cartón corrugado productos de papel, empaques plegadizos, envases de plástico, y envases de hojalata (Grupo Comeca, n.d.) , este último sería el tema de interés a tratar debido al alcance del proyecto, el cual se enfoca en las diferentes líneas de producción de metálicos, iniciando con el corte de las bobinas de hojalata o aluminio pasando por el correspondiente proceso de litografiado, y finalmente por el conformado del envase ya sea embutido o ensamblado, dependiendo de las necesidades de los clientes, por eso se requiere un trabajo en conjunto para lograr cumplir con los tiempos de entrega.

Desde el área de mantenimiento es vital importancia conocer la programación que se tenga por parte del área de producción, y de ventas, esto permite tener una visión global que ayudara a la toma de decisiones aprovechando de la manera más optima el tiempo no programado de las máquinas, de igual forma se deben realizar paros programados y es deber cumplir con estos tiempos, ya que esperar un mantenimiento correctivo puede implicar imprevistos lo que se resume en dinero y problemas con los tiempos de entrega.

Actualmente la disponibilidad se ve afectada por esperar el mantenimiento correctivo, brindando en muchos casos una solución en la inmediates, pero más tarde esta decisión, puede llevar a paros no programados más largos, complejos y costosos, también se debe tener en cuenta los ajustes luego de los cambios de referencia los cuales afectan directamente la producción.

En la actualidad la empresa cuenta con 3 ramas principales que son plásticos, metálicos y decorativos, esta última se trata de otra empresa que fue adherida a la compañía y era conocida como Litoempaques, fue adaptada a la planta de Prodevases hace poco tiempo. Por otro lado, el área de plásticos cuenta con menor cantidad de equipos y con mayor rendimiento, asociado a que cuenta con equipos relativamente nuevos, por lo que se presentan menores fallas en comparación a las máquinas de metálicos. De acuerdo con esto se limita el estudio teniendo en cuenta solo el área de metálicos.

La elaboración de envases de hoja lata y aluminio incluye varios procesos según cual sea la referencia, de igual forma algunos envases no pasan por el proceso de litografía y esto lo determinan las necesidades de los cliente, en base a esto la dinámica de la compañía está ligada a cambios de referencia y tiempos de entrega que se deben cumplir según sea la programación, los retrasos asociados a la falta de disponibilidad de los equipos afectan directamente toda la cadena de procesos por eso se plantea la matriz de riesgo como herramienta, que será el punto de partida para llevar acciones para que cada equipo cuente con el plan de mantenimiento que mejor se acomode a sus condiciones obteniendo, mayor rendimiento y a su vez mejore la producción de la compañía en general.

Los tiempos de paros que se tienen de una máquina determina la confiabilidad de ese equipo y a su vez cada equipo sería componente de un sistema o una línea de la cual también se puede determinar la confiabilidad como un conjunto de componentes que interactúan entre sí para realizar una función, y si se cuenta con elementos con una baja confiabilidad, se deberá enfocar el mantenimiento de acuerdo con las condiciones de los equipos, con el fin de cumplir con los objetivos de la línea.

En consecuencia, aparece una jerarquización, en la cual, las máquinas que más criticidad y demanda tengan en los procesos deben tener un carácter prioritario y por consiguiente deben tener una alta disponibilidad.

En los procesos de producción que involucren el funcionamiento de las máquinas durante los tres turnos de un día, es necesario realizar el mantenimiento teniendo en cuenta las condiciones a las que están sometidas, lo cual implica mantener la disponibilidad de los equipos para poder cumplir con la demanda de la empresa, esto se logrará a partir del análisis de los tiempos de falla en los cuales se involucra, su criticidad y su historial de fallos, entre otros, con la finalidad de saber cómo planear de una mejor manera el mantenimiento y minimizar fallas en el futuro.

El modelo que se seguirá para la creación de la matriz de riesgo es establecido en una guía (Kuykendall, 2002), en la cual se agrupan diferentes metodologías para la construcción de la herramienta que ayude al análisis y a la toma de decisiones, con el fin de realizar acciones que contribuyan a mejorar la eficiencia de los diferentes procesos, ésta herramienta se construirá teniendo en cuenta factores como: costo, retraso en la entrega, impacto ambiental, calidad y seguridad, los cuales serán ordenados de acuerdo a los intereses de la compañía y para eso se llevara

a cabo una encuesta que servirá como indicador del enfoque que se tiene, además del criterio por parte del personal de mantenimiento para llegar a factores de riesgo aceptables en cada máquina.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Generar una matriz de riesgo para el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de equipos de producción en la planta de Prodenvas S.A.S para el área de metálicos, mediante un análisis de tiempos y frecuencias de falla, con el fin de aumentar la disponibilidad y disminuir los paros no programados.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar las máquinas más críticas de las diferentes líneas y ubicarlas en escalas jerárquicas.
- Recopilar información de los tiempos de falla, por medio de bases de datos, historial de fallos, bitácoras y datos que proporcionen operarios y mecánicos.
- Desarrollar una matriz de valoración de riesgos, por medio de encuestas y consideraciones en el departamento de mantenimiento, para evaluar las diferentes maquinas e identificar acciones de mejora.

2 Marco teórico

2.1 Método implementado

El método para realizar un análisis de criticidad se plantea de una manera cuantitativa y cualitativa, de esta forma se puede establecer una jerarquía para los equipos más relevantes, y se puede plasmar esta información en una matriz que es proporcional al riesgo. Esto permite llegar al contexto operacional de los equipos del área, generando un sistema de fácil manejo, para enfocar la atención y recursos hacia los activos críticos (Gutiérrez, Agüero y Calixto, 2007)

La técnica implementada evalúa riesgos potenciales en cada sistema y subsistema de las diferentes líneas de producción, sirviendo como punto de partida para que en conjunto con el personal técnico y de ingeniería, se puedan identificar accidentes y de esta manera poder realizar acciones que mejoren la condición de riesgo, aumentando la productividad de la línea y del área de metálicos en general.

El riesgo puede ser expresado en términos de una expectativa de pérdida y se calcula por medio del producto de la severidad por la probabilidad, este último componente está limitado en un intervalo de tiempo, y para este trabajo se tomará 3 años, en los que se ha recolectado información de los eventos y la frecuencia con la que han ocurrido, la siguiente ecuación es la base para el cálculo de criticidad:

$$\textit{Criticidad} = \textit{Frecuencia de fallas} * \textit{severidad}$$

Donde la severidad es la sumatoria de los diferentes factores evaluados (seguridad, impacto ambiental, calidad, retrasos con la entrega, costos).

El procedimiento para la creación de la matriz debe seguir los siguientes pasos para darle orden y coherencia a los resultados.

- Definición del marco de aplicación en relación con el intervalo de tiempo el cual será de 3 años, en este punto también se establece el espacio de aplicación o alcance que para este trabajo será el área de metálicos de la planta de Prodevases en Medellín.

- Categorizar los niveles de probabilidad subjetivos. Para las fallas serán ubicadas en frecuentes, posibles, y esporádicas. Estas fallas se relacionan directamente con los sistemas a los que pertenecen los cuales serán los objetivos.
- Definir consecuencias, es decir los eventos que afectan los objetivos del área de metálicos para el caso de estudio se plantea la seguridad, impacto ambiental, calidad, retrasos con la entrega, costos.
- Categorizar los niveles de severidad subjetivos en crítico, semi crítico y no crítico.
- Crear una matriz de severidad de consecuencia vs probabilidad de ocurrencia de algún incidente
- Calibrar la matriz de riesgo según el acercamiento a un escenario real, el cual debe ser conocido por los analistas, de esta manera se asigna riesgo para las celdas de mayor gravedad y se implementan escalas de color como ayuda visual, de la misma manera se realiza para el resto de las celdas.

Por medio del historial de bitácoras que se tiene dónde quedan registradas las fallas y sus posibles causas, con la información que hay recopilada y la identificación de los puntos de interés, se puede realizar una planeación más asertiva con el fin de impactar positivamente la disponibilidad y la producción

3 Metodología

3.1 Áreas

Para poder tener un entendimiento de la matriz a continuación se dará una breve descripción de los procesos de cada una de las áreas para la fabricación de envases de hoja lata y de aluminio, muchos de los elementos que hacen parte de las diferentes cadenas de producción tienen un alto grado de criticidad por tratarse de procesos metalmecánicos que involucran riesgo de muerte o lesiones graves.

Se levantará una matriz de riesgo para identificar las maquinas más críticas de toda el área de metálicos de la compañía, con el fin de apoyar los planes de mantenimiento existentes, disminuyendo los paros no programados y mejorando los tiempos de entrega.

Son 21 las líneas de procesos que se tratarán en este proyecto **Tabla 1**, los cuales a su vez se dividen en 4 grupos: troquelado, litografía, Aluminio, Ensamble.

Tabla 1

Líneas de producción (metálicos)

ÁREAS	MÁQUINA
TROQUELADO	ATUN A
	ATUN B
	AT-1
	T1-1
	F1-1
	A1-4
	T1-4
	F1-4
	F401
	CORTADORA
LITOGRAFÍA	PRENSA HOE
	PRENSA MAILANDER
	BARNIZADORA
ALUMINIO	2PC
	EASY OPEN
ENSAMBLE	L1
	L4
	L3

L9
L2A
L2B

3.1.1 Descripción de los equipos

3.1.1.1 Troquelado

En esta área se incluyen todas las maquinas encargadas del proceso para obtener las referencias de láminas, para fabricar posteriormente envases de hojalata, el principio se basa en transformar la materia prima (bobinas), en láminas con unas especificaciones determinadas, ya sea en corte en scroll, corte recto, o para dar forma a los diferentes accesorios que lleva el envase, las troqueladoras son prensas accionadas mecánica e hidráulicamente, que pueden tener accionamiento vertical u horizontal, el cual transmitirá fuerza a la base del troquel para que este penetre la matriz, anclada a la mesa de la maquina y transforme la lámina (Villar, 2009)

Figura 1

Cortadora de hojas a partir de bobinas de acero



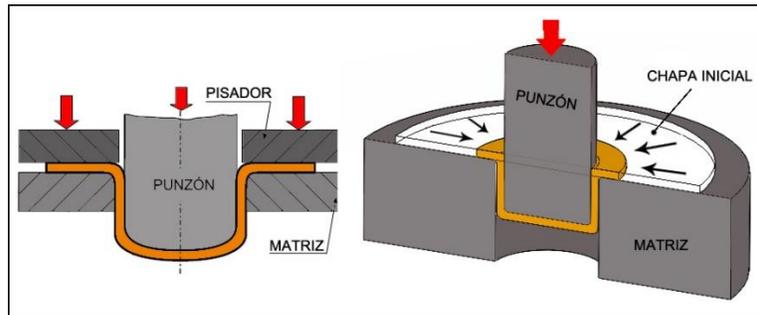
Nota. Fuente <https://n9.cl/50hvr5>

La función de estos equipos **Figura 1** es cortar láminas con unas dimensiones específicas ya sea corte recto o corte scroll. De esta etapa depende que las medidas con las que se va a ensamblar el envase cumplan todos los controles de calidad, por tal motivo es necesario una correcta calibración del equipo para no atrasar los procesos posteriores que son en litografía, troquelado y ensamble. Otras máquinas incluidas en el grupo de troquelado son las prensas para producir envases de atún, por medio del proceso de embutido, que se realiza colocando una lámina

de metal sobre la cavidad de un dado, para luego empujar el metal hacia la cavidad de este con un punzón (Álvarez Sánchez E., 2019), como se ilustra en la **Figura 2**

Figura 2

Proceso de embutición



Nota. Fuente https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:EMBUTIDO_general.jpg

Otras prensas son usadas para el troquelado de accesorios ya sea tapas, anillos o fondos, los cuales pueden ser de 1 galón o de $\frac{1}{4}$ de galón, como la **Figura 3**

Figura 3

Troquel de tapa de 1 galón



3.1.1.2 Litografía

El proceso de litografiado inicia con la materia prima previamente cortada con las características requeridas, estas laminas se arruman en bultos y son transportadas por montacargas hasta el alimentador de las prensas de litografía y el horno de barnizado (**Figura 4**).

Figura 4

Horno Barnizadora



En el horno se hacen pasar las láminas por medio de un sistema de cadenas con el fin de secar el barniz previamente aplicado, para esto cuenta con cuatro quemadores distribuidos a lo largo del horno, esta línea es muy importante ya que solo se cuenta con un horno barnizador en la empresa.

Las máquinas de litografía son las encargadas de plasmar en una lámina metálica el logo o la imagen que se requiera, para esto se necesita una alta precisión y esto se logra con una correcta calibración en la **Figura 5** se muestra el alimentador y el transporte hacia la prensa.

Figura 5

Prensa HOE de litografía



3.1.1.3 Aluminio

Se cuenta con 2 líneas para la fabricación de envases de aluminio, en la línea 2PC se produce el cuerpo, por medio de embutición y en la EASY OPEN se elabora el “abre fácil” el cual pasa por una serie de troqueles en serie los cuales están instalados en la prensa de 75 toneladas (Figura 6)

Figura 6

Prensa de conversión (Easy Open)



En la línea de 2PC se fabrican cuerpos de aluminio por medio de la embutición, en esta línea se cuenta con algunas de las maquinas más robustas y por eso es una de las líneas más

extensas, contando con un des embobinador, dos prensas de 75 y 100 toneladas, transportes verticales y horizontales, una cordonadora, una probadora de vacío y un paletizador (**Figura 7**)

Figura 7
Línea 2PC



3.1.1.4 Ensamble

El área de ensamble es donde llega el producto de las troqueladoras y el área de litografía. Su proceso inicia en las cizallas de cada línea donde se cortan tiras de la láminas, las cuales serán el cuerpo del envase luego de que sean unidos sus 2 extremos formando un cilindro, éste es transportado hacia el horno de curado, en caso de que la soldadura lleve resane, luego se ensambla el fondo del envase en una cerradora y se realiza el proceso de envenado para darle mayor rigidez al envase, finalmente el envase terminado es transportado por medio de bandas a los paletizadores (**Figura 8**) para que sean agrupados y posteriormente entregados al cliente.

Figura 8
Paletizador línea 3



En total son 6 líneas semi automáticas, todas realizan funciones muy similares, lo que varía es la referencia, cabe aclarar que la línea 9 cuenta con un probador de vacío y 4 cerradores ángelus, debido a que las referencias que se fabrican en esta línea deben cumplir otros estándares de calidad.

3.2 Recopilación de información.

Los datos que se tienen hacen parte del histórico de fallas y ajustes con el que cuenta la compañía desde 2020, y han quedado registrados en el programa Elemental, de allí se pudieron extraer las principales frecuencias y tiempo entre fallas.

La información que se tiene es registrada por parte de los operarios de turno o por los mecánicos del área es deber del supervisor asegurarse que se estén registrando correctamente los tiempos y eventos de fallas.

3.3 Matriz de valoración de riesgos.

Una manera de mejorar los indicadores de disponibilidad es concentrar los esfuerzos en aquellas maquinas que presentan una gran cantidad de paros, y para determinar esto se contara con una matriz que permita establecer cuales maquinas necesitan más atención y de esta manera programar el mantenimiento

La matriz será la conjunción de 2 matrices:

- Matriz de consecuencias.
- Matriz de frecuencia.

3.3.1 Matriz de consecuencias

Se contó con el criterio de mecánicos y eléctricos para establecer los factores de criticidad que consideran que son más importantes, para esto se realiza una encuesta.

3.3.1.1 Factores de criticidad a considerar

Así como al personal operativo también se hizo una encuesta al personal administrativo para evaluar 6 factores de criticidad en el mantenimiento: seguridad y salud en las personas, calidad, impacto ambiental, retrasos con la entrega, costo de operación. Cada persona debe dar un valor a los factores, donde 10 es el mayor grado de importancia, en la **Tabla 2** se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 2
Encuesta factores de criticidad

ENCUESTA REALIZADA A LOS DIRECTIVOS DE PRODENVASES						
GERENCIAS	SEGURIDAD	CALIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	RETRASOS CON LA ENTREGA	COSTOS DE OPERACIÓN	TOTAL
G. TÉCNICO	10	6	9	7	8	40
G. COMERCIAL	9	5	10	6	8	38
G. OPERACIONES	10	8	7	6	9	40
G. FINANCIERO	9	6	7	10	5	37
G. GENERAL	9	6	7	8	10	40
SST	10	8	9	6	7	40
TOTAL	57	39	49	43	47	23
VALOR DE PESO	24,3%	16,6%	20,9%	18,3%	20%	100%

Se realiza la sumatoria de todos los valores con el fin de escoger el más relevante encontrando el siguiente orden jerárquico:

1. Seguridad.
2. Impacto ambiental.
3. Costos de operación.
4. Retrasos en la entrega.
5. Calidad

3.3.1.2 Niveles de riesgo

Se tendrán en cuenta 3 niveles de criticidad, los cuales son:

1. Crítico.
2. Semi-Crítico.
3. No Crítico.

Cada factor, deberá tener en cuenta los 3 niveles de criticidad por lo que es necesario establecer los alcances de cada nivel

Tabla 3
Niveles de criticidad por factor y consecuencias

NIVEL	SEGURIDAD		IMPACTO AMBIENTAL		COSTOS DE OPERACIÓN		RETRASOS CON LA ENTREGA		CALIDAD		TOTAL SEVERIDAD
CRÍTICO	Muerte de Personas	57	Suspensión de la licencia ambiental	49	Mayor o igual a \$300,000,000 COP anual	47	1 mes o más	43	Mas del 60% de la producción no pasa la prueba de calidad	39	235
SEMI-CRÍTICO	lesiones graves	38	Multa por 3000 salarios mínimos	33	Entre \$100,000,000 y \$200,000,000 COP anual	31	Entre 1 a 4 semanas	29	Entre en 20% y el 60% de la producción no pasa la prueba de calidad	26	157
NO CRÍTICO	lesiones leves	19	Multa por 789 salarios mínimos	16	Entre \$ 50,000,000 COP y \$100,000,000 COP anual	16	Entre 1 a 7 días	14	Entre en 10% y el 20% de la producción no pasa la prueba de calidad	13	78

3.3.1.3 Puntaje por nivel.

En la **Tabla 3**, se asigna a cada nivel y factor un valor, este número será determinado por el total que se halla en la **Tabla 2** de esta manera la seguridad toma el valor más alto y los demás factores serán inferiores disminuyendo de arriba abajo y de izquierda a derecha en la **Tabla 3**

3.3.2 Matriz de frecuencia.

3.3.2.1 Valores de riesgo.

Para elaborar esta matriz de frecuencia, se deben tener en cuenta los 3 niveles de criticidad anteriormente planteados (Crítico, Semicrítico, No crítico).

Inicialmente, para acotar los rangos de los niveles en la matriz de frecuencia, se tendrán 3 niveles de ocurrencia (1,2 y 3) y 3 valores de severidad, estos valores serán dados, por la suma de los valores de la puntuación por nivel (**Tabla 3**).

Posterior a esto, se hace un producto entre el nivel de ocurrencia con su respectivo nivel de seguridad para sacar valores de riesgo con los cuales se acotarán los niveles de frecuencia.

Tabla 4
Valores de riesgo

NIVEL	ALTO	MEDIO	BAJO
SEVERIDAD	235	157	78
OCURRENCIA	3	2	1
RIESGO	705	313	78

3.3.2.2 Rango de frecuencia.

Para tener un rango de frecuencia, se realizan divisiones de una forma uniforme de los valores de riesgo (**Tabla 4**) y con esto se sacan cotas que permiten tener un rango de frecuencia para evaluar la puntuación de las máquinas. Al multiplicar el grado de ocurrencia por la severidad encontrada en la **Tabla 3** se visualizan valores que servirán como guía para calibrar la matriz de criticidad, estos valores son validados frente a un caso real en el cual se puede confirmar que las máquinas críticas que arroje la matriz son congruentes con la realidad operacional de la empresa, a continuación, en la **Tabla 5** se muestra el rango más aceptable y los resultados de la jerarquización se pueden observar en la **Tabla 9** y **Tabla 10**, donde se ven claramente cuales líneas tienen mayor riesgo ya sea por su alta frecuencia de fallas y ajustes o por su grado de severidad.

Tabla 5
Rango de niveles de la matriz de frecuencia.

NIVEL	ALTO	MEDIO	BAJO
RANGO	472 A 705	234 A 471	0 A 233

Finalmente, teniendo en cuenta el rango de frecuencia, se hace una distribución de valores para crear la matriz, respetando los colores designados para los rangos, y que no haya una transición brusca entre los valores no críticos y los críticos.

La matriz de frecuencia resultante es la siguiente

Tabla 6:

Tabla 6
Matriz de frecuencia

MATRIZ DE CRITICIDAD PRODENVASES			
3	234	471	705
2	156	314	470
1	78	157	235
Rango de Intervalos	78	157	235

3.3.3 Matriz de valoración del riesgo resultante

Se realiza la integración de las dos matrices tanto de frecuencia como de consecuencia

Tabla 6 y **Tabla 3** respectivamente.

Tabla 7
Matriz de riesgo

NIVEL	CONSECUENCIAS					FRECUENCIA		
	SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	COSTOS DE OPERACIÓN	RETRASOS CON LA ENTREGA	CALIDAD	MATRIZ DE CRITICIDAD PRODENVASES		
3	57	49	47	43	39	234	471	705
2	38	33	31	29	26	156	314	470
1	19	16	16	14	13	78	157	235
						78	157	235

Con la construcción de esta matriz se podrán evaluar cuales maquinas representan un nivel de riesgo alto medio o bajo, para trabajar en la búsqueda de acciones que mitiguen el riesgo de falla y mejoren la disponibilidad de la línea

3.4 Evaluación de máquinas críticas.

Cada repuesto será evaluado según los datos de la matriz de riesgo (**Tabla 9**).

3.4.1 Severidad

Para evaluar la severidad de cada línea se asigna a cada factor un valor dependiendo el grado de afectación que represente y teniendo en cuenta la jerarquía que se asignó previamente a cada factor, luego la sumatoria de todos los factores será la severidad total.

Con el valor de la severidad total se calcula la criticidad, al multiplicar este valor por la frecuencia y la frecuencia se determina para un intervalo de tiempo de 3 años.

3.4.2 Valor de frecuencia.

Se asignará un valor de 1 al 3 el cual será el multiplicador de la severidad (Suma de valores de factores de criticidad), este valor se encuentra luego de hallar el valor máximo de eventos, luego se divide en 3 rangos y a cada grupo de números se le asignará 1, 2, o 3 siendo 1 las frecuencias más bajas y 3 las frecuencias altas.

Además, por la forma en que se toman los datos es necesario tener en cuenta las frecuencias de las fallas y los ajustes ya que ambos representan tiempos no programados de las maquinas (Tabla 8), de esta manera se puede visualizar que líneas cuentan con una mayor frecuencia de fallas y de ajustes.

Tabla 8

Tabla de valores de frecuencia por equipos

FRECUENCIA FALLAS		
Esporádico	1	43964
Posible	2	87927
Frecuente	3	131891
FRECUENCIA AJUSTES		
Esporádico	1	7128
Posible	2	14256
Frecuente	3	21384

3.4.3 Calificación de las líneas de producción.

Una vez, se obtiene el producto entre la severidad y el valor de frecuencia, cada repuesto tiene su respectiva calificación con la cual, se efectuará una clasificación para obtener su valor de riesgo resultante.

De esta manera se tendrán distintos valores de frecuencia para la misma línea, esto permite también hacer una comparación de la ocurrencia con el tiempo entre fallas o ajustes.

Tabla 9
Criticidad de las líneas por fallas

ÁREAS	MÁQUINA	FALLAS			CRITICIDAD POR FALLAS
		FRECUENCIA DE FALLAS	F	TIEMPO DE FALLAS	
TROQUELADO	ATUN A	1212	2	98981	275
	ATUN B	1188	2	123344	275
	A1-1	2434	3	173264	448
	T1-1	1591	2	154489	247
	F1-1	1770	3	128026	495
	A1-4	1590	2	148951	221
	T1-4	967	2	117209	253
	F1-4	1405	2	83998	253
	F401	86	1	16298	96
	CORTADORA	119	1	7084	235
LITOGRAFÍA	PRENSA HOE	1960	3	101980	552
	PRENSA MAILANDER	774	1	55067	141
	BARNIZADORA	1314	2	68559	470
ALUMINIO	2PC	1362	2	91158	347
	EASY OPEN	1176	2	127681	347
ENSAMBLE	L1	1393	2	52688	256
	L4	1248	2	50348	256
	L3	1818	3	82067	599
	L9	882	2	49683	285
	L2A	252	1	14697	128
	L2B	1131	2	91199	256

Tabla 10
Criticidad de las líneas por ajustes

ÁREAS	MÁQUINA	AJUSTES			CRITICIDAD POR AJUSTES
		FRECUENCIA DE AJUSTES	F'	TIEMPO DE AJUSTES	
TROQUELADO	ATUN A	1764	1	88030	138

	ATUN B	1909	1	42643	138
	A1-1	4220	1	178161	149
	T1-1	2627	1	143941	123
	F1-1	3736	1	113296	165
	A1-4	2717	1	155194	110
	T1-4	1283	1	72322	127
	F1-4	2121	1	99671	127
	F401	162	1	16232	96
	CORTADORA	2981	1	24655	235
LITOGRAFÍA	PRENSA HOE	6512	1	68895	184
	PRENSA MAILANDER	4498	1	53428	141
	BARNIZADORA	7413	2	68705	470
ALUMINIO	2PC	2213	1	62363	174
	EASY OPEN	2143	1	73763	174
ENSAMBLE	L1	9751	2	152053	256
	L4	9378	2	149494	256
	L3	21384	3	279678	599
	L9	9175	2	196562	285
	L2A	2498	1	129462	128
	L2B	7734	2	220327	256

Una vez se tienen calificadas cada una de las líneas por fallas y ajustes se realizará un análisis a profundidad a las líneas que aparezcan en rojo luego de manera análoga se encuentran los puntos de interés de cada línea para enfocar el mantenimiento a este sistema.

4 Resultados

Con los datos históricos suministrados por la compañía y por la colaboración del personal de mantenimiento, se realizó la construcción de la matriz de criticidad del área de metálicos de la empresa Prodevases S.A.S y por medio de esta la identificación de las líneas que representan el valor más crítico del área.

De las 21 líneas involucradas en los procesos de elaboración de envases de hojalata y aluminio se cuenta con una base de datos “Elemental” donde quedan registradas las intervenciones a los equipos con una breve descripción del lugar donde se concentra la falla o el ajuste, estos quedan registrados como paros no programados, al realizar una filtración por la fecha de inicio de cada evento podemos encontrar el número de eventos que han ocurrido en los 3 años que se tienen de históricos; desde el 1 de enero de 2020 hasta el 30 de diciembre de 2023, se encontraron 131.891 datos solo de fallas y ajustes.

De acuerdo con los resultados obtenidos encontramos que no necesariamente aquellos equipos que tengan una alta frecuencia de paros son equipos críticos y que algunas líneas pueden tener un nivel de severidad alto y no ser líneas críticas, para el caso de estudio se encontraron 3 líneas que son de riesgo, la troqueladora de fondo de galón, la prensa litográfica HOE, y la línea 3 de ensamble, este hallazgo permite enfocar las acciones de mantenimiento para mitigar este indicador.

Por otro lado, son 14 las líneas semi críticas que también requieren atención ya que la mayoría de las líneas se encuentra en este nivel si no se toman acciones pueden pasar a ser críticas

Finalmente, solo 4 líneas hacen parte de las líneas no críticas por lo que no nos enfocaremos en buscar acciones de mejora sino en que se mantengan en este nivel buscando siempre la meta de 0 averías

4.1 Máquinas críticas

Con las líneas que se encontraron críticas se busca donde se concentran la mayoría de los eventos para analizar cuáles son las máquinas que requieren una mayor atención por parte de mantenimiento.

En la troqueladora de fondo de galón, se encontraron dos componentes semi críticos, estos son:

- Magazine.
- Prensa de primera operación.

La prensa HOE de litografía cuenta con 3 sistemas semi críticos los cuales son:

- Alimentador.
- Horno.
- Registro.

La línea 3 de ensamble tiene las siguientes maquinas semi criticas:

- Soldadora.
- Cerradora.

Ya sea por fallas o ajustes las maquinas mencionadas anteriormente son las que generan la mayor cantidad de paros programados y por su nivel de criticidad son a las que se les debe generar acciones de mejora, porque al impactar positivamente estos elementos se verá reflejada una mejor disponibilidad, de esta manera se busca atacar los equipos de mayor riesgo de la línea y por consecuencia se tendrá mayor producción. Si las acciones de mejora son correctas con el transcurso del tiempo se espera disminuir las líneas críticas y darle prioridad a las semi críticas.

4.2 Análisis de elementos críticos

En la prensa de fondo de galón se filtraron los subsistemas para encontrar cuales son las fallas más frecuentes y que han requerido un mayor tiempo de paros no programados (**Tabla 11**).

Tabla 11

Fallas de interés de la prensa F1-1

ÁREA	MÁQUINA	FALLAS Y AJUSES SUBSISTEMA	FRECUENCIA [Σ EVENTOS EN 3 AÑOS]	TIEMPO [MINUTOS]	F	TOTAL SEVERIDAD	CRITICIDAD
TROQUELADO	PRENSA F1-1	PRENSA 1RA OPERACIÓN_FALLA MECÁNICA	633	26226	3	114	341
	PRENSA F1-1	AJUSTE ATRANQUES MAGAZINE	1001	26161	3	110	331
	PRENSA F1-1	PRENSA 1RA OPERACIÓN_AJUSTES	679	14267	2	110	221

De manera análoga en la prensa litográfica HOE se logran identificar 3 subsistemas de interés, en la **Tabla 12** se pueden ver.

Tabla 12
Falla de interés Prensa HOE

ÁREA	MÁQUINA	FALLAS Y AJUSES SUBSISTEMA	FRECUENCIA (Σ EVENTOS EN 3 AÑOS)	TIEMPO (MINUTOS)	F	TOTAL SEVERIDAD	CRITICIDAD
LITOGRAFÍA	LITO HOE	FALLA ALIMENTADOR	500	8957	3	115	345
	LITO HOE	FALLA HORNO	225	14340	2	128	256
	LITO HOE	AJUSTE REGISTRO	488	5013	2	200	399

Para la línea 3 se puede observar en la **Tabla 13** que los atranques en la soldadora y en la cerradora representan el mayor número de eventos en la soldadora esto demuestra las dificultades para realizar los cambios de referencia los cuales no garantizan una producción constante y ocasionan retrasos en la entrega.

Tabla 13
Falla de interés L3

LINEAS	MÁQUINA	FALLAS Y AJUSES SUBSISTEMA	FRECUENCIA (Σ EVENTOS EN 3 AÑOS)	TIEMPO (MINUTOS)	F	TOTAL SEVERIDAD	CRITICIDAD
ENSAMBLE	L03	AJUSTE ATRANQUES CERRADORA	8680	91992,333	3	110,3	331
	L03	AJUSTE ATRANQUES SOLDADORA	3039	38464,151	2	112,3	225

5 Conclusiones

De las 21 líneas de producción estudiadas se identificaron 3 con mayor nivel de riesgo, Fondo de galón, Prensa HOE, y Línea 3, estas líneas de producción tienen un gran número de subsistemas donde también se logra identificar cual es el más crítico y de esta manera se llegó a la falla.

Por medio de la recolección de 131.891 datos durante 3 años se logró identificar los subsistemas que presentan mayores paros y con esto se puede enfocar el mantenimiento preventivo para mitigar los riesgos encontrados. En la prensa de tapa de galón se debe realizar acciones de mejora para evitar los frecuentes atranques en el magazine, en la prensa HOE los constantes paros por problemas de alimentación y registro; finalmente se encontró que para la línea 3 se debe enfocar la atención a mitigar los atranques tanto en soldadora como en cerradora.

Algunas líneas como la barnizadora y la cortadora están siempre en una constante vigilancia por parte del personal de mantenimiento, ya que representan un cuello de botella en la compañía, esto también se ve reflejado al encontrar bajos tiempos de falla por lo que se ubican en el rango de semi críticas ya que sus procesos son más estables en comparación a las demás líneas.

Se establecerán políticas de fallas para enfocar los mantenimientos, estos tendrán la función de ser la guía para la aplicación de la matriz, por lo que se recomienda al personal involucrado en la planeación, tener en cuenta las consideraciones expuestas para un correcto manejo de la información y gestión de mantenimiento.

Referencias

- Álvarez Sánchez E. (2019). Análisis Y Modelado Del Proceso De Embutido Profundo De Lámina Metálica De Formas Elípticas. Retrieved from https://somim.org.mx/memorias/memorias2021/articulos/A2_60.pdf
- Grupo Comeca. (n.d.). www.grupocomeca.com. Retrieved from <http://www.grupocomeca.com/>
- Kuykendall, T. A. (2002). Systems Engineering “Toolbox” for Design-Oriented Engineers. *Insight*, 4(4), 52–52. <https://doi.org/10.1002/inst.20024452>
- Gutiérrez, E., Agüero, M., & Calixto, I. (2007). Análisis de criticidad integral de activos. *Obtenido de:* [www.reliarisk.co: http://r2menlinea.com/w3/PT/PT013_Analisis_de_Criticidad_Integral_de_Activos.pdf](http://www.reliarisk.co/r2menlinea.com/w3/PT/PT013_Analisis_de_Criticidad_Integral_de_Activos.pdf).
- Villar, C. M. (2009). Troqueles y Troquelado, para la producción de grandes series de piezas. *METAL Actual*, 12, 8.