

Encabezado: Confiabilidad en extrusora de mallas CORELCO

EXTRUSORA DE MALLAS CORELCO Y SU TÁCTICA DE CONFIABILIDAD

POR
OSCAR FELIPE SUÁREZ ROMÁN

UNIVERSIDAD EAFIT
MAGISTER EN INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MEDELLÍN - ANTIOQUIA - COLOMBIA
2018

EXTRUSORA DE MALLAS CORELCO Y SU TÁCTICA DE CONFIABILIDAD

POR
OSCAR FELIPE SUÁREZ ROMÁN

DIRECTOR
PH.D. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

REQUISITO PARA OPTAR AL ÍTULO
DE MAGISTER EN INGENEIRÍA
TESIS DE GRADO
UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
MEDELLÍN - ANTIOQUIA - COLOMBIA
2018

Contenido

Pág.

Sección 0 - Prólogo	10
Aparte 1 - Sección 0 - Introducción	14
Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - Objetivos	15
<i>Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - General.....</i>	<i>16</i>
<i>Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - Específicos.....</i>	<i>16</i>
<i>Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - UNO - Fundamentos</i>	<i>16</i>
<i>Elemento 4 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - DOS - Caracterización.....</i>	<i>16</i>
<i>Elemento 5 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - TRES - Metodología de confiabilidad.....</i>	<i>17</i>
<i>Elemento 6 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - CUATRO - Táctica.....</i>	<i>17</i>
<i>Elemento 7 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - CINCO - Conclusiones</i>	<i>17</i>
Aparte 2 - Sección 0 - Estructura del proyecto	22
Aparte 3 - Sección 0 - Justificación	23
Aparte 4 - Sección 0 - Antecedentes	25
Aparte 5 - Sección 0 - Conclusiones de la sección 0	28
Sección 1 - Fundamentos	29
Aparte 1 - Sección 1 - Objetivo número 1	29
Aparte 2 - Sección 1 - Introducción capítulo 1	29
Aparte 3 - Sección 1 - Desarrollo de Sección 1	30
Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Conceptos y generalidades del MCC.....	30
<i>Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 1 - Breve historia del MCC</i>	<i>30</i>
<i>Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 3 de la Sección 1 - Principales conceptos y fundamentos</i>	<i>31</i>
<i>Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Objetivos del MCC</i>	<i>32</i>
<i>Elemento 4 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Principales ventajas del MCC</i>	<i>33</i>
Artículo 2 del Aparte 3 Sección 1 - Las siete preguntas básicas del MCC.....	34
Artículo 3 del Aparte 3 Sección 1 - Procedimientos que rigen el MCC.....	36
Artículo 4 del Aparte 3 Sección 1 - Categorización del mantenimiento	36
Artículo 5 del Aparte 3 de la Sección 1 - Confiabilidad	42
<i>Elemento 1 del Artículo 5 del Aparte 3 Sección 1 - Estructura de confiabilidad</i>	<i>43</i>
<i>Elemento 2 del Artículo 5 del Aparte 3 Sección 1 - Probabilidad de Ocurrencia</i>	<i>46</i>
Artículo 6 del Aparte 3 Sección 1 - Norma SAE JA 1011 Y 1012	46
Artículo 7 del Aparte 3 Sección 1 - Función.....	49

<i>Elemento 1 del Artículo 7 del Aparte 3 Sección 1 - Función primaria</i>	50
<i>Elemento 2 del Artículo 7 del Aparte 3 Sección 1 - Función Secundaria</i>	50
Artículo 8 del Aparte 3 Sección 1 - FMECA y RPN.....	50
<i>Elemento 1 del Artículo 8 del Aparte 3 Sección 1 - Falla</i>	51
<i>Elemento 2 del Artículo 8 del Aparte 3 Sección 1 - Causas de la falla</i>	52
<i>Elemento 3 del Artículo 8 del Aparte 3 Sección 1 - Modo de falla</i>	53
Artículo 9 del Aparte 3 Sección 1 - Metodología Análisis de Fallas	55
Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Procedimiento FMECA - RPN	55
Artículo 11 del Aparte 3 Sección 1 - Procedimientos para calcular severidad....	57
<i>Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 3 Sección 1 - Método ALADON</i>	57
<i>Elemento 2 del Artículo 11 del Aparte 3 Sección 1 - Método OREDA</i>	61
Aparte 4 Sección 1 - Conclusiones de la sección 1.....	67
Sección 2 - Caracterización	68
Aparte 1 - Sección 2 - Objetivo número 2	68
Aparte 2 - Sección 2 - Introducción Sección 2	68
Aparte 3 - Sección 2 - Desarrollo de capítulo 2.....	68
Artículo 1 del Aparte 3 Sección 2 - Extrusión de plásticos	69
Artículo 2 del Aparte 3 Sección 2 - Extrusión de mallas plásticas.....	72
Artículo 3 del Aparte 3 Sección 2 - CORELCO	73
<i>Elemento 1 del Artículo 3 del Aparte 3 Sección 2 - Mallas procesadas en la extrusora CORELCO</i>	73
Artículo 4 del Aparte 3 de la Sección 2 - Volumen de Control Línea de extrusión CORELCO.....	77
Artículo 5 del Aparte 3 Sección 2 - Caracterización línea de extrusión de mallas CORELCO.....	79
<i>Elemento 1 del Artículo 5 del Aparte 3 de la Sección 2 - Extruder</i>	79
<i>Elemento 2 del Artículo 4 del Aparte 3 de la sección 2 - Cabezal</i>	81
<i>Elemento 3 del Artículo 5 del Aparte 3 de la sección 2 - Tanque de refrigeración</i>	84
<i>Elemento 4 del Artículo 5 del Aparte 3 de la sección 2 - recipiente de Mono-orientación</i>	86
<i>Elemento 5 del Artículo 5 del Aparte 3 de la sección 2 - recipiente de Bi-orientación</i>	91
<i>Elemento 6 del Artículo 5 del Aparte 3 de la sección 2 - enrolladora semiautomática</i>	96
Aparte 4 - Sección 2 - Conclusiones de la Sección 2.....	98
Sección 3 - Metodología confiabilidad	99
Aparte 1 - Sección 3 - Objetivo número 3	99
Aparte 2 - Sección 3 - Introducción Sección 3	99
Aparte 3 - Sección 3 - Desarrollo de capítulo 3	99
Artículo 1 del Aparte 3 Sección 3 - Software informático IRCM	100
<i>Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 3 - Configuración del usuario inicial en el software informático IRCM</i>	101

<i>Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Definición del equipo,sistemas y subsistemas</i>	<i>103</i>
<i>Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Configuración de TDO y su función primaria.....</i>	<i>105</i>
<i>Elemento 4 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Configuración subsistema Motor 1 y su función</i>	<i>106</i>
<i>Elemento 5 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Fallas funcionales de Motor cadena 1.....</i>	<i>107</i>
<i>Elemento 6 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Modos de falla de Motor cadena 1</i>	<i>108</i>
<i>Elemento 7 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Configuración modo de falla para el motor esta apagado.....</i>	<i>109</i>
<i>Elemento 8 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Acción de mantenimiento para el modo de falla.....</i>	<i>110</i>
<i>Elemento 9 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Valoración del riesgo del modo de falla por método ALADON</i>	<i>111</i>
<i>Elemento 10 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Acción de mantenimiento On condition</i>	<i>119</i>
Artículo 2 del Aparte 3 de la sección 3 - Proceso para tomar decisiones en hoja decisional ALADON.....	121
<i>Elemento 1 del Artículo 2 del Aparte 3 de la sección 3 - Configuración de la consecuencia de la falla</i>	<i>122</i>
Artículo 3 del Aparte 3 de la sección 3 - Decisión vía MCC	124
<i>Elemento 1 del Artículo 3 del Aparte 3 de la sección 3 - Acciones de mantenimiento vía decisión MCC.....</i>	<i>125</i>
Aparte 4 - Sección 3 - Conclusiones de la Sección 3.....	126
Sección 4 - Táctica.....	127
Aparte 1 - Sección 4 - Objetivo número 4	127
Aparte 2 - Sección 4 - Introducción Sección 4	127
Aparte 3 - Sección 4 - Desarrollo de capítulo 4	127
Artículo 1 del Aparte 3 de la Sección 4 - Extracción de reportes para inferir el plan de mantenimiento del software informático IRCM.....	128
<i>Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 de la Sección 4 - Extracción del resumen del análisis del reporte (Analysis Summary).....</i>	<i>129</i>
<i>Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 3 de la Sección 4 - Extracción del resumen del análisis FMECA</i>	<i>133</i>
<i>Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 3 de la Sección 4 - Extracción del Hardware Report.....</i>	<i>135</i>
Aparte 4 - Sección 4 - Conclusiones de la Sección 4.....	136
Sección 5 - Conclusiones	137
REFERENCIAS.....	139

Figuras

Figura 1 - Secuencia lógica de Objetivos, hecha con base en escala de Bloom & Gagné	18
Figura 2 - Verbos para configurar objetivos	20
Figura 3 - Recomendaciones de verbos para utilizar en los objetivos	20
Figura 4 - Profundidad de los verbos de Bloom & Gagné	21
Figura 5 - Beneficios del mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	34
Figura 6 - Las siete preguntas del MCC.....	35
Figura 7 - Algunas normas que rigen el MCC	36
Figura 8 - Objeto del mantenimiento	38
Figura 9 - Ejemplo Disponibilidad Genérica (cálculos puntuales sin distribuciones) - DG .	41
Figura 10 - Relaciones y leyes que gobiernan un sistema de mantenimiento	42
Figura 11 - Banda de aplicabilidad eficiente de las tácticas.....	49
Figura 12 - Tabla Modos de Falla	53
Figura 13 - Aplicabilidad de FMECA Y MCC según falla y causa.....	54
Figura 14 - Diferencias entre MCC y FMECA, con relación a parámetros que usan.....	54
Figura 15- Cálculo de Riesgo según I RCM S-ALADON	58
Figura 16- Frecuencias de ALADON y del I RCM S	59
Figura 17- Matriz clasificación de riesgos software IRCMS	60
Figura 18 - Clasificación de riesgos con números y colores	61
Figura 19 - Calificación de severidad.....	63
Figura 20 - Criterio Fallos ocultos	63
Figura 21 - Criterio Seguridad Física	64
Figura 22 - Criterio Medio Ambiente.....	64
Figura 23 - Criterio Imagen Corporativa.....	64
Figura 24 - Criterio Costos de Reparación.....	65
Figura 25 - Criterios Efectos en Clientes	65
Figura 26 - Criterio Ocurrencia	66
Figura 27 - Factores de peso en severidad	66
Figura 28 - Representación esquemática de una extrusora de tornillo sencillo	71
Figura 29 - Extrusión de malla plástica con cabezal de batimiento	72
Figura 30 - Malla antigranizo.....	74
Figura 31 - Malla antipajaros	75
Figura 32 - Malla cuadrada cedazo	75
Figura 33 - Malla cerramiento.....	75
Figura 34 - Malla cuadrada	76
Figura 35 - Malla gallinero.....	76
Figura 36 - Malla cuadrada	76
Figura 37 - Malla señalización	77
Figura 38 - Volumen de control Línea de extrusión de mallas CORELCO.....	78
Figura 39 - Extruder CORELCO.....	80
Figura 40 - Cabezal	82

Figura 41 - Tanque de refrigeración.....	84
Figura 42 - MDO	87
Figura 43 - Esquemático MDO	90
Figura 44 - TDO	91
Figura 45 - Esquemático TDO	95
Figura 46 - Enrollador semiautomático.....	96
Figura 47 - Setup IRCM.....	102
Figura 48 - CORELCO y sus sistemas en IRCM.....	103
Figura 49 - TDO CORELCO y sus subsistemas	104
Figura 50 - Configuración de TDO y su función primaria.....	105
Figura 51- Configuración subsistema Motor cadena 1	106
Figura 52 - Fallas funcionales Motor cadena	107
Figura 53 - Modos de fallas de falla funcional A.....	108
Figura 54 - Configuración modo de falla para el motor está apagado	109
Figura 55 - Configuración de acción de mantenimiento	110
Figura 56 - Clasificación de severidad.....	113
Figura 57 - Clasificación de probabilidad de ocurrencia en IRCM	115
Figura 58 - Calculo del RPN por método ALADON en IRCM	116
Figura 59 - Valoración del índice de riesgo de peligro HRI	117
Figura 60 - Clasificación de riesgos con números y colores.....	118
Figura 61 - Tarea basada en la condición.....	119
Figura 62 - Configuración de On Condition para el modo de falla, el motor está apagado	120
Figura 63 - Diagrama de flujo para toma de decisiones ALADON	121
Figura 64 - Configuración consecuencia de la falla para el modo de falla, el motor está apagado	122
Figura 65 – Ruta para toma de decisión de consecuencia de la falla	123
Figura 66 - Lógica de decisión con MCC	124
Figura 67 - Extracción de reportes del IRCM	128
Figura 68 - Extracción de Resumen del Análisis	129
Figura 69 - Resumen hoja 1	130
Figura 70 - Resumen hoja 2	131
Figura 71 - Resumen hoja 3	132
Figura 72 - FMECA Motor cadena 1	133
Figura 73 - FMECA Motor cadena 1	134
Figura 74 - Hardware Report de CORELCO	135

Tablas

Tabla 1 - Productos.....	14
Tabla 2 - Niveles	19
Tabla 3 - Mallas procesadas	73
Tabla 4 - Clasificación severidad IRCM.....	111
Tabla 5 - Clasificación Probabilidad de ocurrencia en IRCM	114

Sección 0 - Prólogo

El papel de mantenimiento es el de incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar actividades tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos. Sus funciones van más allá de las reparaciones; su valor se aprecia en la medida en que éstas disminuyan como resultado de un trabajo planificado y sistemático con apoyo y recursos de una política integral de los directivos (Mora A. -G., Mantenimiento industrial en empresas de tecnologías avanzadas, 1999).

La prolongación o la recuperación de las funciones de la maquinaria está directamente relacionada con el mantenimiento; sus objetivos son prevenir eventos indeseables y evitarlos, recobrar para el servicio los mecanismos que han fallado y, en general, asegurar la disponibilidad apropiada para la producción (Mora, 2017).

El objetivo de mantenimiento es conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste, con el máximo nivel de seguridad para el personal que lo utiliza y lo mantiene y con una mínima degradación del medio ambiente. Al conseguir todos estos puntos se está ante una buena gestión integral de mantenimiento (Navarro, Pastor, & Mugaburu, 1997).

El proyecto pretende diseñar una táctica de confiabilidad para la línea de extrusión de mallas CORELCO, en la empresa colombiana Compañía de Empaques S.A., ubicada en el departamento de Antioquia en la ciudad de Itagüí.

A mediados de los años 30, en un mercado callejero de cabuya, al frente de la cantina El Perro Negro, en pleno Guayaquil¹, los jóvenes Jaime Londoño Mesa y Luis Horacio Toro comenzaron con un trato de palabra la primera fábrica del país en producir industrialmente sacos de fique² para atender la creciente demanda de las trilladoras de café.

El 12 de marzo de 1938, con un capital inicial de 50.000 pesos de la época y unos 60 artesanos adiestrados, se constituyó la Compañía de Empaques. Entraron como socios Ricardo Londoño, Leopoldo Arango y José Julián Echeverri para constituir la como sociedad anónima.

Los talentos de Jaime Londoño para las ventas y la gerencia, y de Leopoldo Arango para la técnica de producción, se trenzaron para manejar una empresa que, 75 años después, es más de lo que ellos alcanzaron a ver.

Hoy Compañía tiene activos por 214.000 millones de pesos, emplea a 1.300 trabajadores, es líder del mercado nacional, exporta a 10 países y fabrica a diario 54.000 sacos de fique y 500.000 más de fibras sintéticas a base de polipropileno, entre otros productos.

Pero si hoy ocupa 78 mil metros cuadrados de complejo industrial en Itagüí, esta quirotada empezó en un pequeño local alquilado en Barrio Triste, en la calle Amador con Avenida

¹ Calle de la ciudad de Medellín – Antioquia.

² Planta de hojas radicales largas, triangulares, carnosas, terminadas en un fuerte aguijón, y flores amarillentas en ramillete sobre un bohordo central; es originaria de México; se emplea en la fabricación de fibras textiles y en la elaboración del pulque, el mezcal y el tequila.

Ferrocarril.

Allí se instalaron las primeras máquinas enseñadas al yute³ o sisal⁴, una fibra más gruesa, que fueron modificadas para procesar el fique colombiano. Fueron traídas desde Irlanda en un viaje de 10 mil kilómetros.

Ese mismo recorrido lo emprendieron antes Londoño Arango, en vísperas de la Primera Guerra Mundial. A pesar de los riesgos, era el primer paso para industrializar en Colombia el trabajo artesanal de tejer la cabuya en costales, tradición heredada desde tiempos precolombinos.

Pero fue complejo, como recuerda Cecilia Londoño Arango, hija de Jaime Londoño y madre del actual presidente, Pedro Miguel Estrada: mi papá contaba que fue un viaje muy luchado, lleno de inclemencias, primero en tren, luego por el Magdalena, para después cruzar el Atlántico y desembarcar en esa isla. Fueron como tres meses de travesía.

Después Leopoldo Arango, de overol, tuvo que desempacar los guacales y en jornadas de días y noches ensamblar las primeras cardas, peinadoras, hiladoras y urdidores. Todo, pieza a pieza y sin manual de instrucciones. Por su parte, para Jaime Londoño no había vacaciones colectivas y él se iba con sus pequeños hijos para la fábrica a encender las máquinas o en las correrías por el

³ Planta herbácea tropical de tallos leñosos poco ramificados, flores pequeñas, amarillas, aisladas o en parejas y fruto en forma de cápsula.

⁴Es una planta utilizada para fines comerciales, cultivada en regiones semiáridas. Se usa principalmente la fibra de las hojas, que se procesan especialmente para fabricar cuerdas, cordeles, sacos, telas y tapetes.

oriente del departamento a comprar materia prima con los figueros⁵.

Pero no todas las máquinas venían de Europa, sino que muchas se construyeron aquí. Por ejemplo, la máquina para procesar felpa la fábrica Leopoldo Arango después de ver unas en Costa Rica.

Tanto esfuerzo dio sus frutos. La producción crecía, se necesitaban más bodegas, crecían los puestos de trabajo y se sacaba provecho del auge cafetero. La materia prima llegaba no solo del oriente antioqueño, sino de Nariño, Cauca, Boyacá y Cundinamarca.

Por eso la fábrica se traslada en 1950 al barrio Los Colores en Medellín, donde estuvo solo ocho años, en vista de los continuos cortes de energía y las dificultades logísticas, Luego se instaló en su sede actual, en la autopista sur.

En medio de la bonanza, la Compañía dio un paso decisivo para su crecimiento en 1965 con la fabricación de fibra sintética producida con polipropileno y también vender sacos para fertilizantes, concentrados y otros usos. Años después, se creó Texcomercial, filial distribuidora y comercializadora de productos propios y externos (El Colombiano, 2013).

⁵ Personas que siembran el Fique.

Aparte 1 - Sección 0 - Introducción

Cía. Empaques S.A es una empresa con más de 75 años de experiencia en la transformación de fibras naturales y resinas plásticas en soluciones prácticas y con altos estándares de calidad para los sectores industrial, agropecuario, construcción e infraestructura.

La empresa tiene una red de negocios que cuenta con un innovador equipo humano de más de 1.500 colaboradores, que le permite destacarse en diferentes actividades industriales.

Dentro del portafolio de negocios, se puede resaltar:

Tabla 1 - Productos

<i>Categoría</i>	<i>Material</i>	<i>Nombre</i>
<i>1 - Empaque</i>	<i>Fibra natural</i>	<i>Saco</i>
<i>2 - Empaque</i>	<i>Polipropileno</i>	<i>Saco</i>
<i>3 - Protección</i>	<i>Polipropileno</i>	<i>Mallas</i>
<i>4 - Construcción</i>	<i>Polipropileno</i>	<i>Mallas</i>
<i>5 - Publicidad</i>	<i>Polipropileno</i>	<i>Cartonplast</i>

Fuente (Propia, 2018)

Gracias a la excelencia de los procesos productivos y de gestión, la tecnología de punta, el compromiso de quienes laboran en la Compañía, el respeto por la naturaleza y la calidad de los productos que se ofrecen, son líderes en los diversos sectores en los que participan, tanto en Colombia como en diferentes países de la Región (CiaEmpaques@, 2016).

En la última década la organización crece en infraestructura y adiciona nuevas líneas de producción con equipos de última tecnología, lo que le permite ampliar su mercado nacional e internacional. Sin embargo, hoy la organización enfrenta varios retos entre los que se destacan una materia prima⁶ con un aumento de precio de alrededor del 33.3%, la competencia nacional e internacional.

Esto genera que la exigencia a los activos de producción sea mucho mayor y el deterioro acelerado aparece, por lo tanto, la organización decide tomar un nuevo rumbo y un método diferente donde se logre optimizar los procesos de mantenimiento en los activos productivos de modo que las pérdidas en la operación se reduzcan y tengan continuidad en el tiempo, sin interrupciones imprevistas y con un alto índice de confiabilidad.

Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - Objetivos

Para la realización de este proyecto se parte de dos temas centrales, el primero es el objetivo general donde se da cobertura a la generalidad macro del proyecto, el segundo son los objetivos específicos donde se abordan aquellos puntos que permitirá alcanzar el objetivo general.

⁶ PP Polipropileno

Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - General

Desarrollar una táctica de mantenimiento, basada en confiabilidad para la línea de extrusión de mallas CORELCO, a partir de diferentes metodologías apropiadas para ello, con el fin de mejorar su disponibilidad.

Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - Específicos

La construcción de los objetivos se hace con base en la metodología de Bloom & Gagné, que consiste en tres partes fundamentales, que son: verbo (en infinitivo y tercera persona; solo se usa uno por objetivo), acción (que es donde se aplica el verbo) y los condicionantes (tales como: porqué, para qué, dónde, qué, cuándo, dónde, etcétera; se colocan meramente los necesarios). A su vez para la utilización de verbos, se tienen en la escala de Bloom y Gagné, niveles diferentes que son estructurados, acorde al nivel deseado, lo cual cubre varias escalas, en orden.

Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - UNO - Fundamentos

Registrar los conceptos, pasos y reglas de la táctica de mantenimiento centrado en la confiabilidad, con base en la metodología de la Casa OREDA, Normas ISO JA 1010, 1011 y 1012, Metodología ALADON, Nowlan Howard and Heap, etcétera, en aras de su aplicación a la máquina de extrusión de mallas CORELCO. Nivel uno Conocer - Escala de Bloom & Gagné.

Elemento 4 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - DOS - Caracterización

Describir los componentes críticos de los principales sistemas y subsistemas de la línea de extrusión de mallas CORELCO, para determinar las acciones apropiadas de mantenimiento,

hacia la aplicación de MCC para determinar la criticidad. Nivel dos Comprender - Escala de Bloom & Gagné.

Elemento 5 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - TRES - Metodología de confiabilidad

Utilizar la metodología de MCC, para jerarquizar los modos de falla relevantes de los componentes críticos de la línea CORELCO con el fin de poder implementar, las acciones de mantenimiento más asertivas, mediante programa informático evaluando las funciones, fallas, modos de falla y trabajos de mantenimiento, para determinar la criticidad de las mismas. Nivel tres Aplicar - Escala de Bloom & Gagné.

Elemento 6 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - CUATRO - Táctica

Configurar un plan de mantenimiento que atienda los diferentes modos de falla, analizados por el método de confiabilidad en los elementos críticos. Nivel cuatro Aplicar - Escala de Bloom & Gagné.

Elemento 7 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - CINCO - Conclusiones

Presentar los principales resultados obtenidos.

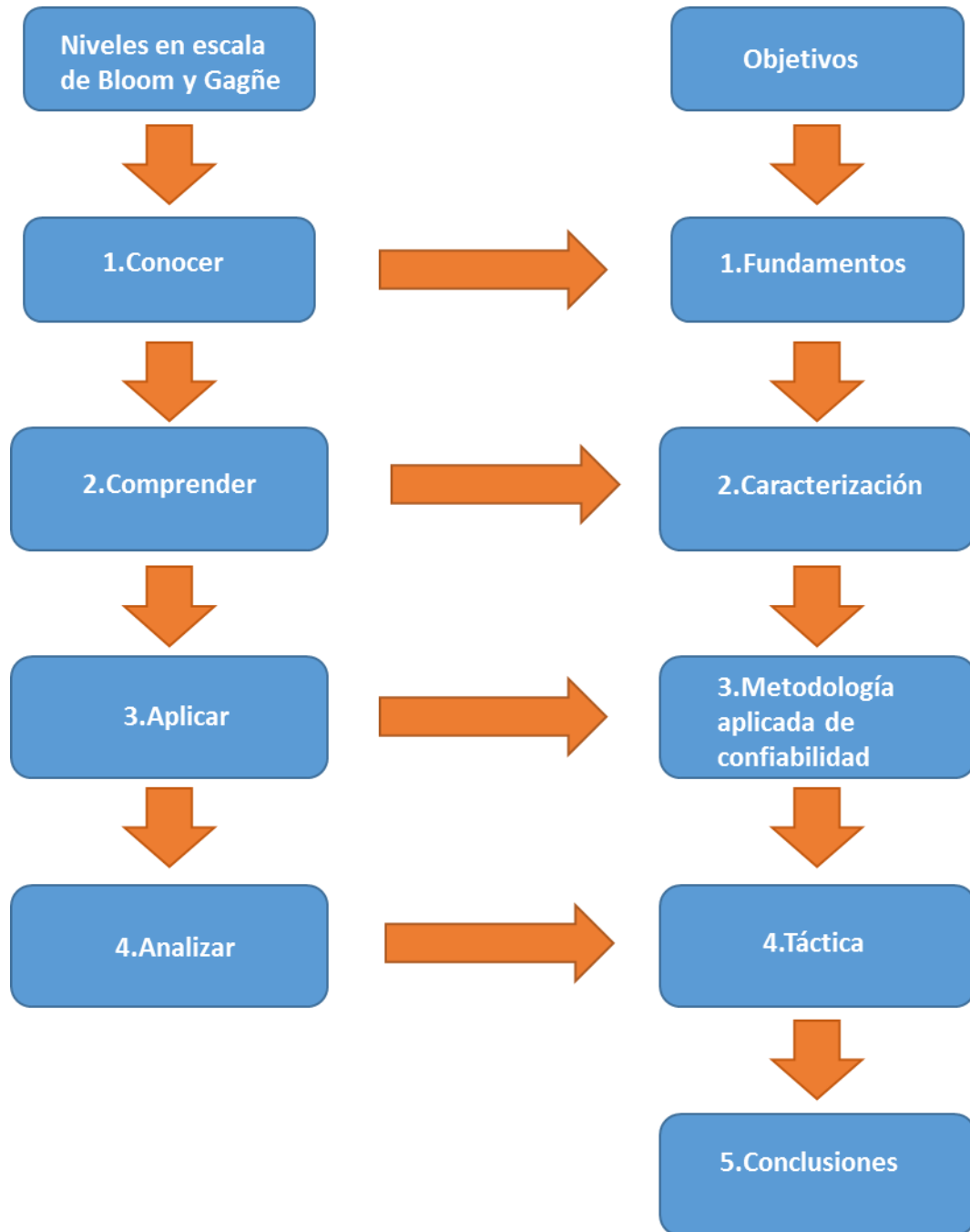


Figura 1 - Secuencia lógica de Objetivos, hecha con base en escala de Bloom & Gagne

Fuente (Propia, 2018)

Tabla 2 - Niveles

<i>Orden secuencial de Títulos</i>	<i>Nivel Bloom Gagñé</i>	<i>Título de Capítulo</i>
<i>1 - Uno</i>	<i>Conocer</i>	<i>Fundamentos</i>
<i>2 - Dos</i>	<i>Comprender</i>	<i>Caracterización</i>
<i>3 - Tres</i>	<i>Aplicar</i>	<i>Metodología confiabilidad</i>
<i>4 - Cuatro</i>	<i>Analizar</i>	<i>Táctica</i>
<i>5 - Cinco</i>		<i>Conclusiones</i>

Fuente (Propia, 2018)

Verbs que se recomiendan para montar Objetivos en los Proyectos de Investigación, Tesis, Tesinas o Proyectos de fin de Carrera				5	6
			4	SÍNTETIZAR	JUZGAR
	2	3	4	5	6
1	COMPRENDER	APLICAR	ANALIZAR	SÍNTETIZAR	JUZGAR
CONOCER	Interpretar Traducir Reafirmar Describir Reconocer Explicar Expresar, Revisar Ubicar, Informar	Aplicar Emplear Utilizar Demostrar Practicar Ilustrar Operar, Dibujar Programar, Esbozar	Distinguir, Analizar Diferenciar Calcular, Probar Experimentar Comparar, Criticar Contrastar, Discutir Diagramar, Debatir Inspeccionar, Catalogar	Planear, Proponer Diseñar Formular Reunir Construir, Crear Establecer Organizar Dirigir, Preparar	Juzgar Evaluar Clasificar Estimar Seleccionar Valorar Calificar Escoger Medir
Definir Repetir Registrar Memorizar Nombrar Relatar Subrayar Identificar					

Figura 2 - Verbos para configurar objetivos

Fuente (Zapata, 2017)

MEMORIZACION	COMPRESIÓN	ANALISIS	SINTESIS	APLICACION	EVALUACION
Anotar	Agregar	Analizar	Arreglar	Agrupar	Apreciar
Citar	Asociar	Calcular	Catalogar	Aplicar	Asesorar
Contar	Clasificar	Comparar	Combinar	Calcular	Calificar
definir	Comparar	Contrastar	Construir	Demostrar	Comprobar
Dibujar	Contrastar	Criticar	Crear	Dibujar	Conceptualizar
Escribir	Describir	Debatir	Desarrollar	Dramatizar	Controlar
Hacer lista	Diferenciar	Descomponer	Dirigir	Emplear	Criticar
Identificar	Discriminar	Desglosar	Diseñar	Esbozar	Determinar
Indicar	Discutir	Detectar	Establecer	Examinar	Escoger
Leer	Distinguir	Diagramar	Estructurar	Graficar	Estimar
Memorizar	Explicar	Diferenciar	Formular	Ilustrar	Evaluar
Nombrar	Expresar	Discutir	Generalizar	Interpretar	Examinar
Nombrar	Extrapolar	Distinguir	Integrar	Operar	Indicar
Recitar	Identificar	Especificar	Investigar	Ordenar	Juzgar
Registrar	Informar	Examinar	Organizar	Practicar	Manifestar
Repetir	Interpolare	Experimentar	Planear	Programar	Medir
Señalar	Interpretar	Explicar	Preparar	Resolver	Probar
Subrayar	Reafirmar	Indagar	Prescribir	Usar	Recomendar
Trazar	Reconocer	Inferir	Producir	Utilizar	Revisar
	Relacionar	Inspeccionar	Proponer		Seleccionar
	Relatar	Investigar	Resumir		Sustentar
	Revisar	Probar	Reunir		Valorar
	Tabular	Separar			
	Traducir				
	Ubicar				

Figura 3 - Recomendaciones de verbos para utilizar en los objetivos

Fuente (FI-UPB, 2009)

Este proyecto se desarrolla con base en la metodología y niveles de Bloom & Gagné. Los niveles que se plantean son; conocer, comprender, aplicar y analizar, de esta manera se logra abordar los temas concretos en cada nivel que permitirá diseñar la táctica apropiada para ayudar a alcanzar la confiabilidad operativa del equipo CORELCO.

Nivel de Profundidad de la escala Bloom & Gagné

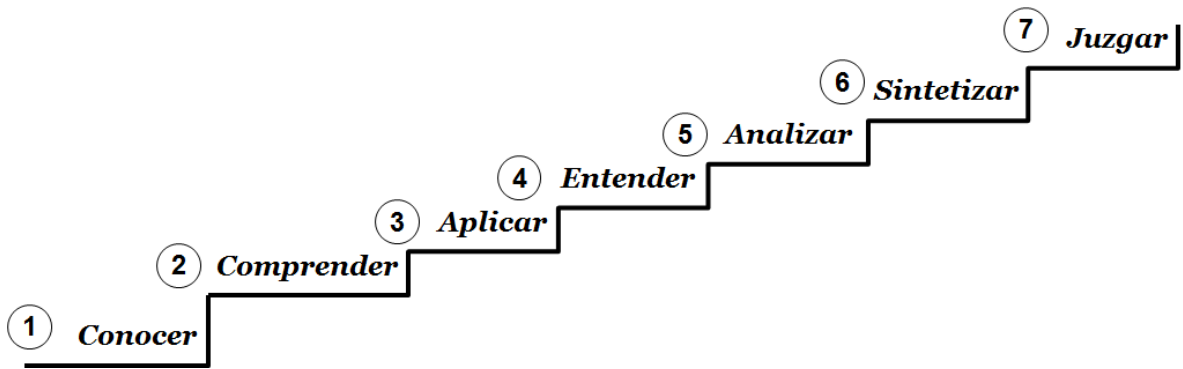


Figura 4 - Profundidad de los verbos de Bloom & Gagné

Fuente (Zapata, 2017) (Barret&Bloom@, 2012)

Aparte 2 - Sección 0 - Estructura del proyecto

La primera sección del proyecto muestra los principios fundamentales de las metodologías mencionadas en el objetivo uno, estas son la base para la estructuración del proyecto, esta sección atiende el objetivo 1.

La segunda sección pretende caracterizar los sistemas y subsistemas de la línea de extrusión de mallas CORELCO, que se van a elegir para aplicar el proyecto, esta sección atiende el objetivo 2.

La tercera sección aplica la metodología MCC mediante programa informático para jerarquizar los modos de fallas principales de los sistemas y subsistemas que se eligieron de la línea de extrusión de mallas CORELCO, para esto se empleara software informático.

La sección cuatro, en el cuarto capítulo, configura la táctica de confiabilidad para determinar las acciones de mantenimiento.

La sección cinco expone las principales conclusiones del desarrollo del proyecto.

Aparte 3 - Sección 0 - Justificación

Compañía de Empaques es una empresa con más de 75 años de experiencia en la transformación de fibras naturales y resinas plásticas en soluciones prácticas y con altos estándares de calidad para los sectores Industrial, Agropecuario, Construcción e Infraestructura. (Compañía de Empaques S.A, 2016)

El grupo Compañía de Empaques⁷ tiene un direccionamiento estratégico para el año 2020 en el cual se propone tener ventas por 300 mil millones de pesos y utilidades netas de 25 mil millones de pesos⁸. Es un reto para una organización que tuvo en los dos últimos años 2017 y 2016 un contraste en sus utilidades, 6 mil millones de pesos y 16 mil millones de pesos respectivamente.

La Compañía de Empaques dentro de ese grupo tiene la mayor contribución en ventas, por lo tanto, para lograr alcanzar el objetivo estratégico propuesto debe empezar a generar nuevas estrategias y tácticas en cada uno de sus procesos internos.

La organización enfrenta varios retos entre los que están; una competencia fuerte a nivel nacional, un mercado que, si bien tiene buen comportamiento, también es cambiante, y un incremento del precio de la materia prima polipropileno de alrededor de un 33.3%.

⁷ La Compañía de Empaques S.A. junto con Texcomercial - Texco S.A.S Colombia y Texcomercial S.A. Ecuador y Compañía de Empaques Internacional S.A.S, conforman el GRUPO EMPRESARIAL EMPAQUES.

⁸ TRM del día Lunes 26 de Febrero de 2018: 2.849,59 pesos colombianos por dólar estadounidense.

La compañía dentro de su portafolio de productos, manufactura mallas plásticas en polipropileno y polietileno para un amplio y creciente mercado.

El principal equipo que procesa mallas en polipropileno y polietileno, y que tiene una mayor participación de contribución en el negocio de mallas, es la línea de extrusión CORELCO.

Aparte 4 - Sección 0 - Antecedentes

La complejidad empresarial de hoy en día, el gran desarrollo tecnológico involucrado en los equipos de producción y en edificios e instalaciones de prestación de servicio, hacen que el mantenimiento se deba estudiar y aplicar con mayor contenido científico, rigurosidad analítica y profundidad, si se desea que alcance su objetivo principal, bajo las condiciones actuales y futuras de sus clientes. (Mora, 2017)

Compañía de empaques es una organización que tiene sus áreas internas estructuradas y con unos lineamientos hacia los objetivos estratégicos.

Después de revisar el área de mantenimiento de esta organización, se observa que es un área que mantiene los equipos en buenas condiciones, ejecuto en los últimos cuatro años proyectos de instalación de nuevas líneas de producción, evita todos los días que haya equipos inactivos, y también hay un alto grado de concentración en lo cual lo más importante es que las maquinas no dejen de producir.

La exigencia del mercado es mayor y los objetivos organizacionales son grandes, por lo cual después de hacer el ejercicio de análisis del área de mantenimiento y específicamente en la línea de extrusión de mallas CORELCO, se logró identificar que la mayoría de las intervenciones son correctivas, algunas reparaciones y desvares son una constante.

El equipo CORELCO opera las 24 horas al día durante los 7 días de la semana en la manufactura de las diferentes referencias de mallas en polipropileno y polietileno, sin embargo,

como se mencionó en el párrafo anterior algunas reparaciones de emergencia y desvares son una constante, y eso queda en evidencia en los reportes de tiempos improductivos del año 2017.

Las fallas imprevistas se convierten en el mayor problema de la división de fabricación, pues impiden el desarrollo normal de su actividad, como consecuencia de esto sucede la aparición de la etapa II de mantenimiento, donde el objetivo principal es solucionar las paradas repentinas de los equipos, por lo cual mantenimiento empieza a desarrollar acciones de prevención o predicción de fallas, en esta fase empiezan a utilizarse técnicas y metodologías propias de las acciones planeadas de mantenimiento, la empresa adquiere el conocimiento y la destreza para diferenciar las acciones propias de mantenimiento, antes y después de la falla; se inicia la utilización de técnicas y tecnologías propias de la prevención y predicción, tales como: rutinas de inspecciones, planes preventivos, mediciones técnicas, valoración de condición de estado de los equipos, ensayos no destructivos, registro de datos técnicos, monitoreo de equipos, reposición de elementos antes de que entren en estado de falla, control de la vida útil de los elementos, medición de la funcionalidad de los dispositivos, análisis de vibraciones, tribología, ajustes de función antes de la falla, etc. y, nace el control operativo de equipos y de sus elementos. (Mora, 2017)

Para cada equipo fundamental de proceso se definen las acciones de mantenimiento más adecuadas y prioritarias, se preparan las rutas para recolectar datos (o mediciones), se identifican las máquinas a las que se les toman datos (con software propio o comercial), se fundamenta el sistema de gestión para recibir estas informaciones y generar las ordenes de trabajo apropiadas

al proceso productivo. (Mora A. -G., Mantenimiento industrial en empresas de tecnologías avanzadas, 1999)

Aparte 5 - Sección 0 - Conclusiones de la sección 0

La sección 0 describe y ordena las ideas acerca de lo que se va a presentar dentro de este proyecto, conociendo toda la estructura y los objetivos alcanzables dentro del mismo.

Asimismo, se quiere presentar el contexto empresarial donde se deja en evidencia las oportunidades de mejora que tiene una organización en el área de mantenimiento y el camino que debe emprender para alcanzar sus objetivos organizacionales.

Es importante emplear herramientas, métodos, análisis de carácter científico que permita explotar al máximo la Ingeniería de Mantenimiento para evolucionar y mejorar los entornos de producción manufacturera.

Sección 1 - Fundamentos

Aparte 1 - Sección 1 - Objetivo número 1

UNO - Fundamentos - Registrar los conceptos, pasos y reglas de la táctica de mantenimiento centrado en la confiabilidad con base en la metodología de la Casa OREDA, Normas ISO JA 1010, 1011 y 1012, Nowlan Howard and Heap, Metodología ALADON, en aras de su aplicación a la máquina de extrusión de mallas CORELCO. Nivel uno Conocer - Escala de Bloom & Gagné.

Aparte 2 - Sección 1 - Introducción capítulo 1

Esta sección aporta cada uno de los métodos, criterios y pasos necesarios en el mantenimiento basado en confiabilidad, en cuanto a cada una de las aplicaciones de las funciones primarias y secundarias, fallas, modos de fallas, trabajos de mantenimiento, cálculos de riesgos y de número de riesgo prioritario, basado en severidad, nivel de detección anticipada y probabilidades de ocurrencia.

Se presentan las escuelas SAE⁹, ALADON¹⁰, OREDA¹¹, ESReDA¹², EIReDA¹³, Nowlan and Howard Heap¹⁴, etcétera en cuanto a sus puntos, tópicos importantes y criterios relevantes, descritos en el párrafo anterior.

Aparte 3 - Sección 1 - Desarrollo de Sección 1

Los conceptos que se muestran en esta sección son los fundamentos básicos para entender la metodología y como brinda los elementos necesarios para alcanzar los objetivos posteriores.

Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Conceptos y generalidades del MCC

A continuación, se muestran algunos conceptos y generalidades del MCC.

Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 1 - Breve historia del MCC

El MCC encuentra sus raíces a principios de los años sesenta; inicialmente es desarrollado por la industria de la aviación civil norteamericana; el primer esfuerzo serio lo promulga la ATA

⁹ SAE: Society of Automotive Engineers.

¹⁰ Empresa líder en la migración del concepto de MCC de la aviación, a la industria.

¹¹ OREDA - Off Shore Reliability Data: es un proyecto que se inició en 1981, donde participan varias compañías internacionales del Oil&Gas y previó 12 fases de desarrollo. El objetivo inicial era capturar datos de confiabilidad para tener equipos seguros.

¹² ESReDA: European safety, Reliability and Data Association.

¹³ EIReDA: European Industry Reliability Data Bank.

¹⁴ Ingenieros Norte Americanos de la *United Airlines* que originalmente definieron el MCC (MCC – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad).

(*Air Transport Association*) en Washington (USA) en 1968, conocido como informe MSG1; posteriormente actúa el departamento de defensa de USA y, por comisión, F. Stanley Nowlan y Howard Heap escriben por primera vez su trabajo bajo el nombre de *Reliability Centred Maintenance* en 1978 (publicación de United Airlines por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos), que procura optimizar los factores humanos y productivos alrededor del mantenimiento. El estudio MSG2, primero, y el MSG3, promulgado en 1980, han permitido la divulgación de la metodología (Moubray, 2004). El *MCC* se puede definir como un proceso usado para determinar lo que debe hacerse para asegurar que cualquier recurso físico continúe realizando lo que sus usuarios desean que realice en su producción normal actual (Moubray@, 2001).

Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 3 de la Sección 1 - Principales conceptos y fundamentos

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento, que sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional.

Esta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de las fallas de un determinado contexto operacional, realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario, el cual desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón costo / beneficio (Jones, 1995).

El *MCC* es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos en función del diseño y de la construcción de estos. El *MCC* asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga (Marks, 1997).

Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Objetivos del MCC

- Eliminar las averías de las máquinas.
- Suministrar fuentes de información de la capacidad de producción de la planta a través del estado de sus máquinas y equipos.
- Minimizar los costos de mano de obra de reparaciones, en base a un compromiso por parte de los responsables del mantenimiento en la eliminación de fallas de máquinas.
- Anticipar y planificar con precisión las necesidades de mantenimiento.
- Establecer horarios de trabajo más razonables para el personal de mantenimiento.
- Permitir a los Departamentos de Producción y de Mantenimiento una acción conjunta y sincronizada a la hora de programar y mantener la capacidad de producción de la planta.
- Incrementar los beneficios de explotación directamente mediante la reducción de los presupuestos del departamento de mantenimiento.

*Elemento 4 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 - Principales ventajas del
MCC*

- Crea un espíritu altamente crítico en todo el personal (operaciones o mantenimiento) frente a condiciones de falla y averías.
- Logra importantes reducciones del costo del mantenimiento.
- Optimiza la confiabilidad operacional, maximiza la disponibilidad y/o mejora la mantenibilidad de las plantas y sus activos.
- Integra las tareas de mantenimiento con el contexto operacional.
- Fomenta el trabajo en grupo (convirtiéndolo en algo rutinario).
- Incrementa la seguridad operacional y la protección ambiental.
- Optimiza la aplicación de las actividades de mantenimiento tomando en cuenta la criticidad e importancia de los activos dentro del contexto operacional.
- Establece un sistema eficiente de mantenimiento preventivo.
- Aumenta el conocimiento del personal tanto de operaciones como de mantenimiento con respecto a los procesos operacionales y sus efectos sobre la integridad de las instalaciones.
- Involucra a todo el personal que tiene que ver con el mantenimiento en la organización (desde la alta gerencia hasta los trabajadores de planta).

- Facilita el proceso de normalización a través del establecimiento de procedimientos de trabajo y de registro

(Moubray, 2004)

Calidad	Tipo de Servicio	Costo	Tiempo	Riesgo
<p>Aumenta la disponibilidad en al menos un 8%, por el sólo hecho de implementarlo.</p> <p>Elimina las fallas crónicas y elimina las causas raíces.</p> <p>Aumenta la flexibilidad operacional.</p> <p>La programación de mantenimiento se basa en hechos reales.</p> <p>Proporciona el completo conocimiento de las fallas reales y potenciales de las máquina, así como de sus causas.</p>	<p>Proporciona un mejor clima organizacional para el trabajo en equipo.</p> <p>Ayuda a entender mejor las necesidades y los requerimientos de los clientes.</p> <p>Disminuye las paradas imprevistas.</p> <p>Genera un ambiente de investigación y desarrollo alrededor de los análisis de fallas.</p>	<p>Reduce los niveles de mantenimiento al menos en un 40%.</p> <p>Optimiza los programa de mantenimiento.</p> <p>Reduce los costos planeados o no de mantenimiento al menos en un 40%.</p> <p>Alarga la vida de los equipos para propósitos especiales.</p> <p>Todas las actividades de mantenimiento se analizan en un contexto de costo / beneficio.</p>	<p>Mejora los tiempos medios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad al menos en un 25%.</p> <p>Aumenta los tiempos de funcionalidad de los equipos al menos en un 150% en promedio.</p> <p>Reduce o elimina los tiempos de demora en suministros o búsqueda de recursos o repuestos.</p> <p>Jerarquiza las actividades de mantenimiento, logrando su reducción en el tiempo.</p>	<p>Brinda seguridad e integridad ambiental en todo el desarrollo del proceso, a niveles muy superiores de los que se tienen antes de implementarlo.</p> <p>Las fallas con consecuencias sobre el medio ambiente o la seguridad son las que más se atacan y eliminan.</p> <p>Reduce al mínimo la posibilidad de fallas en cadena o superpuestas.</p> <p>Su razón de calificación al riesgo la hace como una de las tácticas más seguras.</p>

Figura 5 - Beneficios del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Fuente (*Mora, 2017*)

Artículo 2 del Aparte 3 Sección 1 - Las siete preguntas básicas del MCC

De acuerdo con el estándar SAE JA 1011 un programa de MCC debe asegurar que las siguientes siete preguntas sean contestadas satisfactoriamente y en la secuencia en que aparecen.

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su

actual contexto operacional?

Funciones

2. ¿De qué manera falla en satisfacer sus funciones?

Fallas Funcionales

3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional? **Modo de Falla**
4. ¿Qué sucede cuando ocurre la falla? **Efecto de Falla**
5. ¿De qué manera importa cada falla? **Consecuencia de Falla**
6. ¿Qué puede hacerse para predecir/prevenir cada falla? (Tarea proactiva e Intervalo de inspección) **Tarea proactiva e Intervalo de inspección**
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (Acciones de Mejoramiento) **Acciones de Mejoramiento**

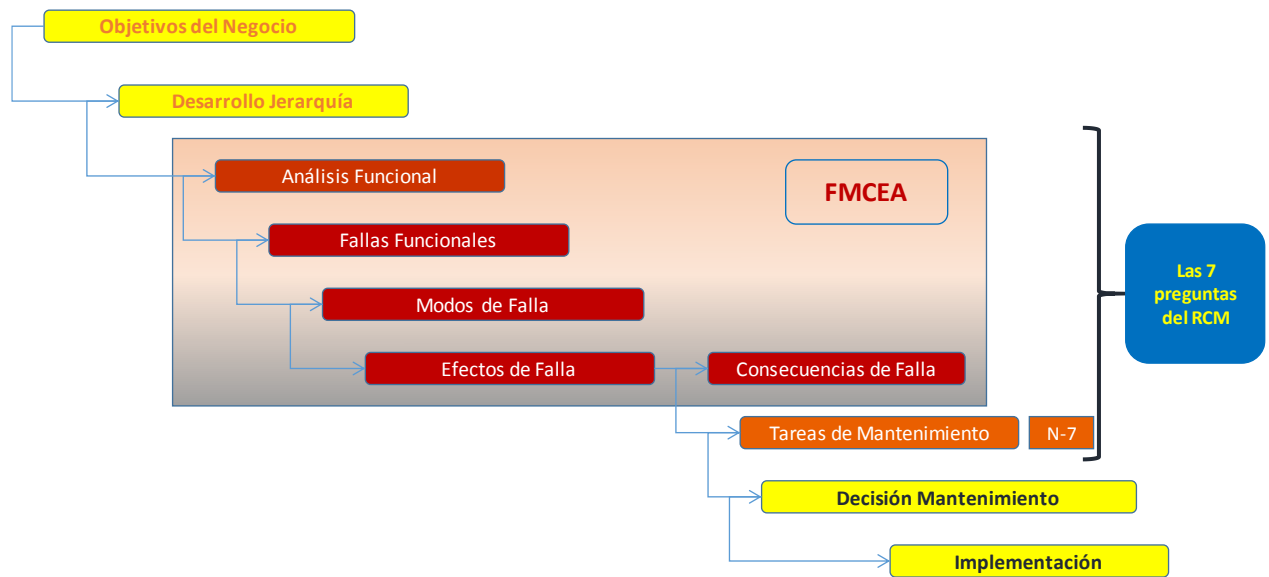


Figura 6 - Las siete preguntas del MCC

Fuente ((Rengifo, 2018).

Artículo 3 del Aparte 3 Sección 1 - Procedimientos que rigen el MCC

Existen varios procedimientos de orden universal que plantean las normas y reglas que rigen la implementación del MCC, en sí son procedimientos parecidos, algunos con mayor validez o no, pero en el fondo apuntan a unos propósitos generales comunes.

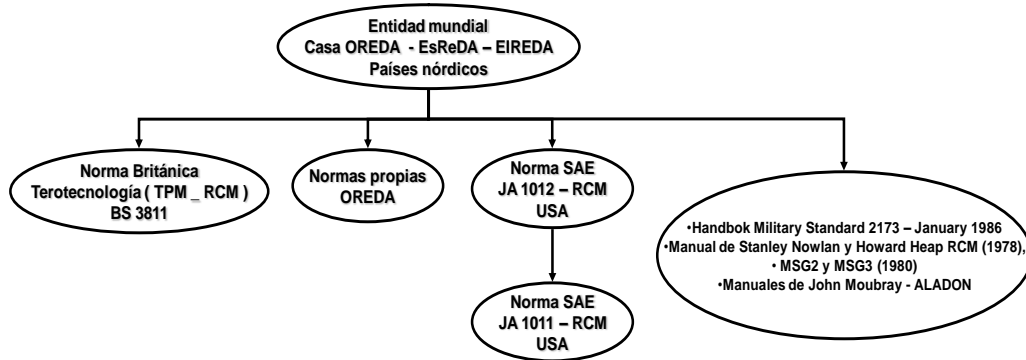


Figura 7 - Algunas normas que rigen el MCC

Fuente (Mora, 2017).

Artículo 4 del Aparte 3 Sección 1 - Categorización del mantenimiento

Una primera aproximación a la categorización del mantenimiento, se encuentra instituida por la casa ESReDa en su Manual *Handbook* (ESReDa, 2001) donde se establecen tres niveles: táctico, operativo y estratégico; para presentar una adecuada clasificación para diversas tareas, acciones y temas del mantenimiento.

Si bien ESReDa es un buen acercamiento a la síntesis del mantenimiento, se deben instaurar lazos más fuertes para darle solidez a este concepto, en el cual se fundamenta todo el tratamiento y aplicación de la ciencia mantenimiento (ESReDa, 2001).

El enfoque kantiano¹⁵ se fundamenta en las concepciones de espacio y tiempo, por lo cual es necesario identificar las acciones tanto del espacio como del tiempo sobre las máquinas durante su vida útil.

Parece ser que la acción del tiempo¹⁶ afecta más los componentes o elementos corpóreos de las máquinas y, la acción del espacio se entiende mejor en la tecnología que portan las máquinas, denominadas alma de los equipos, que consiste en la función principal para lo cual son diseñadas (ESReDa, 2001).

La función de mantenimiento, se entiende como sostener o alargar la vida útil de los elementos o equipos de producción, atiende dos componentes básicos de estos: el cuerpo y la función. El efecto que realiza el tiempo (con el espacio invariable) sobre los artefactos o equipos está más asociado al deterioro de los elementos corpóreos¹⁷, al actuar como causante de desgaste o de falla parcial o total en las máquinas (Mora, 2017).

¹⁵ De Immanuel Kant, científico alemán desarrollador de las teorías de sistemas que se desenvuelven en un contexto de espacio y de tiempo.

¹⁶ Espacio y Tiempo del enfoque Sistémico Kantiano o de la Terotecnología.

¹⁷ Corpóreos, para denotar que forman parte del cuerpo y siempre son de índole material.

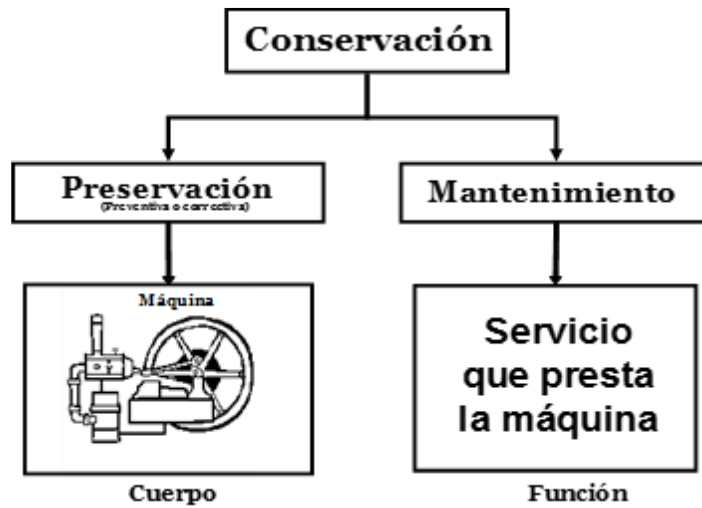


Figura 8 - Objeto del mantenimiento

Fuente (Mora, 2017)

La confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad, son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas, fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis (Mora A. -G., Mantenimiento Estratégico Empresarial, 2007b) y su evaluación integral y específica; es a través del CMD¹⁸ que se puede planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar totalmente la gestión y operación del mantenimiento.

La confiabilidad se mide a partir del número y duración de las fallas (tiempos útiles, reparaciones, tareas proactivas, etc.), la mantenibilidad se cuantifica a partir de la cantidad y de la duración de las reparaciones (o mantenimientos planeados (tareas proactivas según J. Moubray

¹⁸ CMD: Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad.

- MCC II); mientras que la disponibilidad se mide (o se obtiene por cálculo y deducción matemática) a partir de la confiabilidad y de la mantenibilidad.

En resumen, la confiabilidad se asocia a fallas, la mantenibilidad a reparaciones y la disponibilidad a la posibilidad de generar servicios o productos (Mora, 2017).

Relación de disponibilidad:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Confiabilidad}}{\text{Confiabilidad} + \text{Mantenibilidad}}$$

Disponibilidad Genérica sin mantenimientos preventivos- A_G ¹⁹

$$A_G = \frac{\text{Media de los Tiempos Útiles con Funcionamiento}}{\text{Media de Tiempos Útiles} + \text{Media de los tiempos de No funcionalidad}} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^m UT_i}{m}}{\frac{\sum_{i=1}^m UT_i}{m} + \frac{\sum_{j=1}^n DT_j}{n}}$$

Donde:

UT : tiempos útiles o *Up Time*

DT : son los tiempos en que la máquina ni funciona ni produce, en inglés *Down Time*

m es el número de eventos de UT

n , es el número de no funcionalidades DT

¹⁹ En inglés *Generic Availability*

Además, se asume que no hay acciones planeadas M_P dentro de los tiempos de DT .

La disponibilidad genérica en este caso se mide en porcentaje, mientras que UT , DT , MUT y MDT se miden en unidades de tiempo: horas, minutos, entre otros.

Disponibilidad Genérica - D_G

Es muy útil cuando se tienen los tiempos totales de funcionamiento y de no funcionalidad, los cuales se miden en forma global (no discrimina los tiempos correctivos, preventivos, predictivos, las demoras o los *Ready Time*), los DT se miden al bulto, en este caso no se poseen los tiempos exactos de demoras logísticas, suministros, retrasos, acciones correctivas ni modificativas, tiempos planeados, otros. Es muy útil para empresas principiantes en el tema de predicción del CMD.

Los MUT en la A_G solo consideran los tiempos en que el equipo funciona correctamente, como a su vez los MDT contemplan todo lo que genere no disponibilidad o no funcionalidad, los tiempos de paradas previstas o planeadas por mantenimiento (u otra causa) deben descontarse del tiempo en que el equipo puede operar. Por ejemplo en el evento en que se tuviera un equipo que tiene tiempo útil UT , otro tiempo DT por fallas que generan reparaciones y además de lo anterior se tiene tiempo invertido en PM mantenimiento preventivo, con un tiempo total TT , se calcula así, la disponibilidad (Vallejo, y otros, 2004).

$$A_G = \frac{\text{Tiempo Funcionamiento}}{\text{Tiempo en que puede operar}} = \frac{TT - \sum PM - \sum DT}{TT - \sum PM}$$

Si durante los tiempos de mantenimiento preventivo aparece una falla se consideran como hechos independientes el PM y la reparación, tratándose como eventos diferentes.

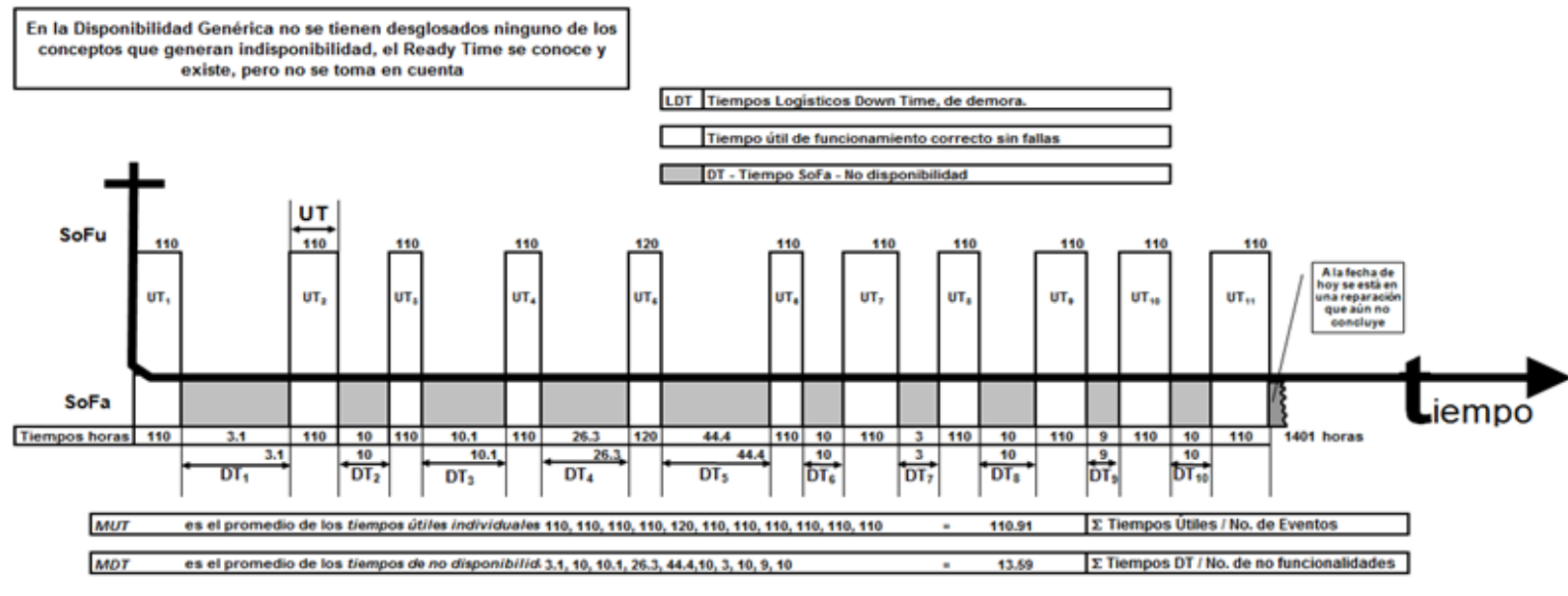


Figura 9 - Ejemplo Disponibilidad Genérica (cálculos puntuales sin distribuciones) - DG

Fuente (Mora, 2017).

$$Disponibilidad\ Genérica = A_G = \frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{110.91}{110.91 + 13.59} = 89.08\%$$

Los conceptos, aplicaciones, demostraciones y fundamentos que se esbozan hasta el momento, dejan sentadas las bases para entender las relaciones y leyes existentes entre los elementos de un sistema de mantenimiento y las relaciones que los gobiernan, bajo un enfoque sistémico; todo con el fin de poder predecir el comportamiento del CMD y de cada una de sus variables, al menos con el método puntual, que si bien no es muy exacto, es muy útil para las empresas que se inician en el tema, aparte de que otorga toda la rigurosidad y metodología de cálculo, aplicables en los otros modelos de predicción CMD (Mora, 2017).

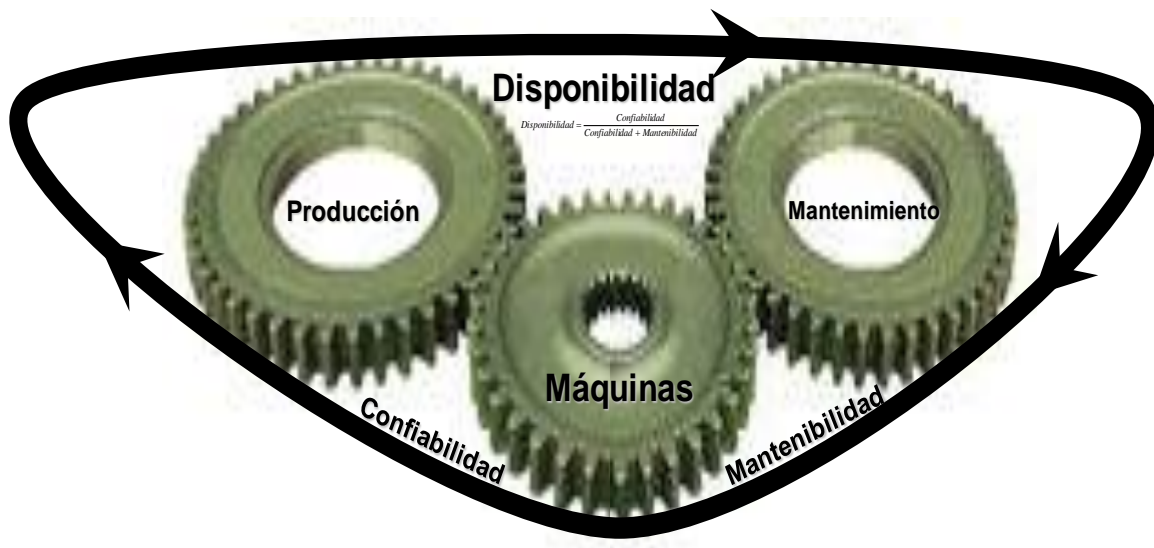


Figura 10 - Relaciones y leyes que gobiernan un sistema de mantenimiento

Fuente (Mora, 2017).

Artículo 5 del Aparte 3 de la Sección 1 - Confiabilidad

La medida de la confiabilidad de un equipo, es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo (ESReDa-Industrial, 1998). Si no hay fallas, el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable; pero si la

frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable. Un equipo con un muy buen diseño, con excelente montaje, con adecuadas pruebas de trabajo en campo y con un apropiado mantenimiento, no debe fallar nunca (en teoría); sin embargo, la experiencia demuestra que incluso los equipos con mejores: diseños, montajes y mantenimientos; fallan alguna vez (Bazovsky, 2004).

La probabilidad de que un equipo²⁰ desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un período de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno, se define como confiabilidad (Blanchard B. S., 1995) (Blanchard, Verma, & Peterson, 1994) (Ebeling, 2005) (Nachlas, 1995) (Ramakumar, 1996) (Sotskov, 1972) (Leemis, 1995) (O'Connor, 2002) (Kececioglu, 1995) (Kelly & Harris, 1998) (Dounce, 1998) (Rey, 1996) (Halpern, 1978) (Forcadas, 1983) (Modarres, 1993) (Barlow, Engineering Reliability, 1998) (Barlow & Proschan, Mathematical Theory of Reliability, 1996) (Bazovsky, 2004) (Lewis, 1995) (Nakajima, Shirose, Goto, Miyoshi, & Alvarez, 1991).

Elemento 1 del Artículo 5 del Aparte 3 Sección 1 - Estructura de confiabilidad

La definición de confiabilidad muestra que existen cuatro características que definen su estructura: probabilidad, desempeño satisfactorio, período y condiciones de operación:

²⁰ Cuando se refiere a un equipo, se abarcan sistemas, unidades, componentes y en general, cualquier elemento que represente una unidad lógica de seguimiento.

Probabilidad

Las mediciones de CM²¹ se hacen en términos de probabilidad, la cual se define en forma clásica, como el resultado de dividir el número de veces de los casos estudiados (intentos o eventos, favorables o no) entre el número total posible de casos (intentos o eventos); en la medida que la cantidad²² de intentos o casos posibles sea mayor la probabilidad se vuelve más exacta y cercana al valor real. Por ejemplo, la probabilidad de un desempeño eficaz durante 80 horas de 0.75 (o 75%), indica que el equipo funciona satisfactoriamente 75 veces de cada 100 ensayos, durante al menos 80 horas (Blanchard, Verma, & Peterson, 1994).

Desempeño satisfactorio

Este indica que se deben establecer criterios específicos para describir lo que se considera, como una operación satisfactoria. Una combinación de factores cualitativos y cuantitativos definen las funciones que el sistema (equipo) debe lograr, usualmente son las especificaciones del sistema (Blanchard, Verma, & Peterson, 1994). Implica además conocer cuándo el equipo falla y ya no se desempeña satisfactoriamente. Para un automóvil, por ejemplo, un adecuado nivel de satisfacción es que se pueda desplazar, si es así, el auto se desempeña satisfactoriamente, aún si su radio se daña o ciertas luces no funcionan (Leemis, 1995).

²¹ CM - Confiabilidad Mantenibilidad.

²² Se recomienda valores superiores a treinta y un experimentos (Levin, 1996), en el teorema del límite central, que menciona que cuando la muestra en poblaciones atípicas es igual o superior a treinta (o 31) elementos, la media muestral se asemeja a la media poblacional.

Período

Es la variable aleatoria de la definición de confiabilidad y se refiere a la duración del funcionamiento o longitud de vida; no necesariamente tiene que ser dado en horas, días, meses o años; de acuerdo con el sistema, el tiempo se puede medir con un reloj, el tiempo exacto de operación, el número de ciclos²³ de operación o incluso en otras medidas como kilómetros recorridos, como es el caso de las llantas de un automóvil (Ebeling, 2005) (Ramakumar, 1996). El análisis de dicha variable aleatoria implica el uso de las distribuciones de probabilidad, que deben ser modelos razonables de la dispersión de los tiempos de vida²⁴ (Nachlas, 1995).

Condiciones de operación

Son las circunstancias en las que se espera que el equipo funcione, y constituyen el cuarto elemento relevante de la definición básica de confiabilidad; incluyen factores como ubicación geográfica donde se espera que el equipo opere, el medio ambiente²⁵, vibraciones, transporte, almacenamiento, empaque, cantidad de la carga²⁶, etc. (Ramakumar, 1996).

²³ Un ciclo puede ser el aterrizaje de un avión o el encendido de un motor eléctrico, o la cantidad de productos o servicios que genera, justo en un período.

²⁴ Tiempos de vida entendidos como la variable aleatoria, sin olvidar que puede estar representada por otras medidas como el kilometraje recorrido etc.

²⁵ Por ejemplo, temperatura o ciclos de temperatura, humedad, etc.

²⁶ Entendida en términos generales y no solo de esfuerzos; puede denotar también carga eléctrica, peso soportado por un puente, volumen de digitalización, etc.

Elemento 2 del Artículo 5 del Aparte 3 Sección 1 - Probabilidad de Ocurrencia

La forma gráfica en que se expresa la confiabilidad, depende de su formulación matemática.

La probabilidad de ocurrencia de un evento se define mediante la expresión:

$$P_f = \left(\frac{n}{N} \right)$$

donde n es (son) el (los) evento (s) de falla (en confiabilidad) a estudiar; N es el número total de eventos posibles; P_f es la probabilidad de falla.

$$P_f = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{N} \right)$$

donde P_f se define como la probabilidad de que ocurra el evento n ante una serie grande o infinita N , de eventos posibles.

$$R_a = 1 - P_f$$

Con R_a como la probabilidad de confiabilidad o de éxito o de supervivencia, en un tiempo a , siendo P_f la probabilidad de falla en ese mismo tiempo a .

(Ramakumar, 1996).

Artículo 6 del Aparte 3 Sección 1 - Norma SAE JA 1011 Y 1012

En lo referente a la Norma SAE JA 1011, se dice que esta no presenta un proceso MCC estándar. Su título es: Criterios de Evaluación para procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Este estándar muestra criterios con los cuales se puede comparar un proceso. Si el proceso satisface dichos criterios, se lo considera un proceso MCC, caso contrario no lo es. (Esto no significa necesariamente que los procesos que no cumplan con el estándar SAE MCC no resulten válidos para la formulación de estrategias de mantenimiento. Solo quiere decir que no se le debe aplicar el término MCC a los mismos.).

Por su parte, en la norma SAE JA 1012, establece que es una guía para la norma del MCC, pero no intenta ser un manual ni una guía de procedimientos para realizar el MCC. Aquellos que desean aplicar MCC están seriamente invitados a estudiar la materia en mayor detalle, y a desarrollar sus competencias bajo la guía de profesionales MCC experimentados (Moubray@, 2001).

El principal objetivo del mantenimiento centrado en la confiabilidad es reducir el costo de mantenimiento, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas, y evitando o quitando acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarias.

El MCC se define como un proceso usado para determinar lo que debe hacerse para asegurar que cualquier recurso físico continúe realizando lo que sus usuarios desean que realice en su producción normal actual (Wakefield, 1985) (Mora, 2017).

La norma SAE JA 1011 define mantenimiento centrado en la confiabilidad de la siguiente manera. MCC es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional.

En el libro de RMC II de Jhon Moubray el autor plantea la siguiente definición: MCC es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

EL MCC es el proceso usado para determinar el enfoque más efectivo del mantenimiento esto implica identificar acciones que cuando se toman reducen la probabilidad de falla de la forma más costo-efectiva buscando una mezcla optima de acciones basadas por condición, acciones basadas en ciclos o en tiempos o el enfoque de operar hasta que falle.

En conclusión, el MCC es un proceso que permite determinar las tareas mínimas de mantenimiento (Correctivo, Preventivo y Predictivo) necesarias para que los activos cumplan con su función en su contexto operacional. Los principales componentes del MCC están relacionados.

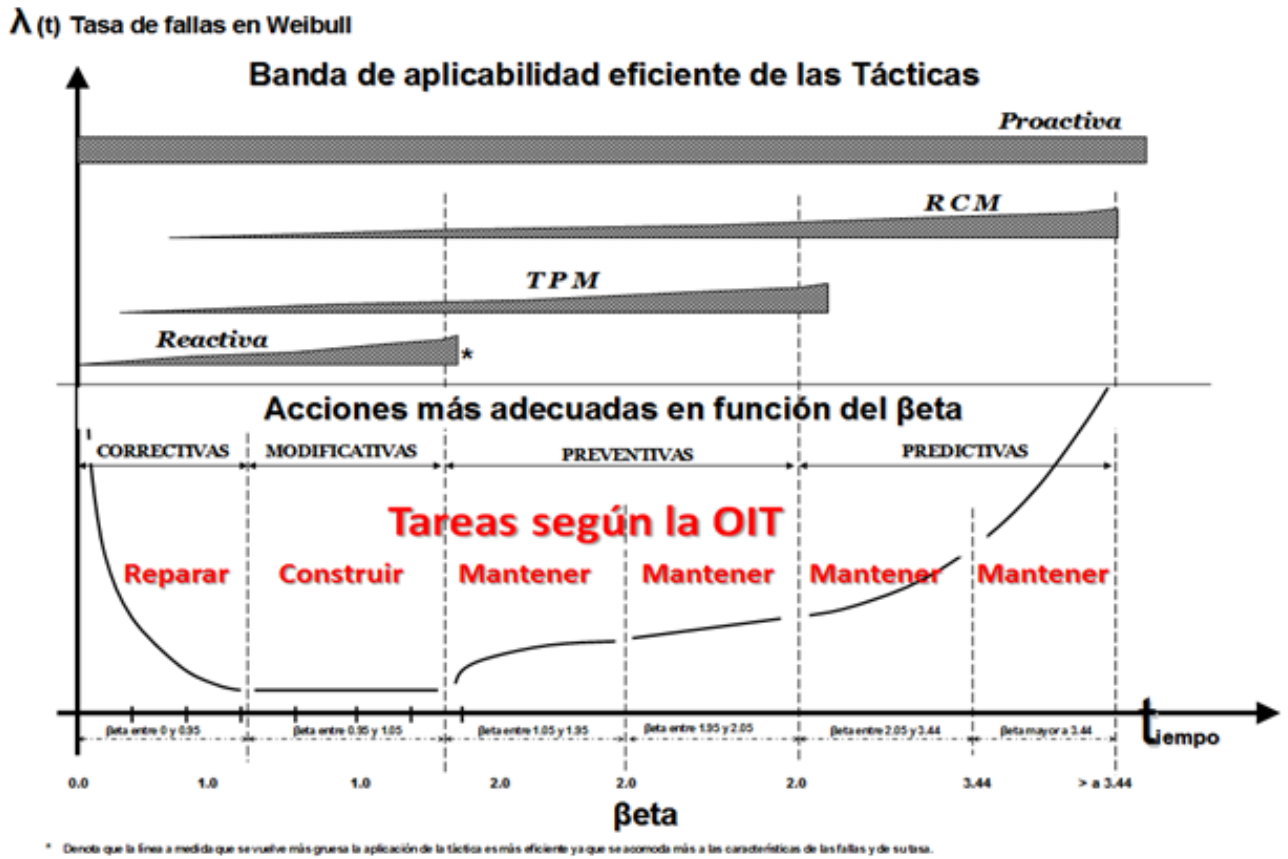


Figura 11 - Banda de aplicabilidad eficiente de las tácticas

Fuente (Mora, 2017)

Artículo 7 del Aparte 3 Sección 1 - Función

La función es el propósito o misión de un activo en un contexto operacional específico.

La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización dependerá de: La función de los equipos en su contexto operacional; y el comportamiento funcional de los equipos en ese contexto (Moubray@, 2001).

Elemento 1 del Artículo 7 del Aparte 3 Sección 1 - Función primaria

La razón de ser del mismo. Constituyen la razón de ser del activo, por qué fue adquirido el sistema y está asociado a la salida principal (producto de salida) del sistema (funciones primarias típicas: bombear, comprimir, calentar, etc.). Una función principal es generalmente dada por el nombre del artículo.

Maneja temas como: velocidad, capacidad, producción, calidad de los productos, servicio al cliente, características técnicas.

Elemento 2 del Artículo 7 del Aparte 3 Sección 1 - Función Secundaria

Son actividades que le ayudan a cumplir sus funciones primarias, eventualmente el equipo funciona sin las secundarias, son aquellas otras funciones que el activo este en capacidad de cumplir de forma adicional a la función primaria.

Artículo 8 del Aparte 3 Sección 1 - FMECA y RPN

El *FMECA*²⁷ presenta dos opciones: cuando se desconoce la causa de la falla y cuando se sabe de todas (o la mayoría) las fallas reales y/o potenciales con sus correspondientes causas. En el primero de los casos se utiliza la metodología de análisis de fallas y en la segunda se aplica el procedimiento *FMECA*. Es posible confundir este último con la metodología que usa el *MCC* para llegar a establecer el mapa (o matriz) o valoración del riesgo, existe una diferencia muy especial entre ambos sistemas, el *MCC* en su valoración de riesgos solo utiliza los parámetros de

²⁷ Análisis de los efectos, modos y causas de falla

Severidad y Ocurrencia, mientras que el procedimiento *FMECA* usa tres parámetros: Severidad, Ocurrencia y Probabilidad de Detección, sin embargo la metodología es muy similar, como también lo son las tablas para su calificación en cada uno de los tres componentes descritos (que juntos conforman la base de evaluación del *RPN* (Stamatis, 1995).

Las fallas se clasifican internacionalmente en críticas, degradantes, incipientes y desconocidas según la Casa OREDA, en análisis de fallas se establecen dos tipos: crónicas y esporádicas; las primeras de ellas son las verdaderamente importantes ya que los tiempos de no funcionalidad que implican son mucho más grandes en el tiempo que los períodos no productivos de las esporádicas, aun siendo estas últimas más impactantes, dramáticas y preocupantes ante las directivas, pues son más visibles (OREDA, OREDA, 2002).

Elemento 1 del Artículo 8 del Aparte 3 Sección 1 - Falla

Se refiere a la función del equipo o sistema y se define como el defecto material de una cosa que merma su resistencia, o como una desviación de lo esperado. Las fallas pueden ser:

- Críticas
- Degradantes
- Incipientes
- Desconocidas

Elemento 2 del Artículo 8 del Aparte 3 Sección 1 - Causas de la falla

Se refiere a las causas que condujeron a que se presentara la falla. En la mayoría de los casos se deben a:

- Diseño
- Especificaciones
- Transporte y/o almacenaje
- Ensamblaje
- Operación
- Mantenimiento

Elemento 3 del Artículo 8 del Aparte 3 Sección 1 - Modo de falla

Es un evento con una probabilidad razonable, que hace que el equipo o sistema pierda su función.

Hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado el estado de falla.

DEFORMACIÓN	SEPARACIÓN	CALIDAD DEL MATERIAL	DESGASTE
Contracción	Fractura por fragilidad	Envejecimiento	Abrasión
Laminación	Agrietamiento	Quemado	Corrosión
Doblamiento	Picadura	Degradación	Erosión
Pérdida de planitud	Fisura intercrystalina	Deterioro	Picadura
Flexión lateral	Excoriación	Decoloración	Rozamiento
Abolladura	Ruptura dúctil	Desintegración	Cavitación
Deformación	Fractura por desgaste	Fragilización	Excoriación
Expansión	Fractura por corrosión	Endurecimiento	Exfoliación
Extrusión	Grietas por temperatura	Ablandamiento	Mordedura
Crecimiento	Exfoliación	DESPLAZAMIENTO	Ranurado
Rebajamiento	Rajadura	Adhesión	Rayadura
Hendidura	CONTAMINACIÓN	Bloqueo	
Escurrimiento plástico	Obstrucción	Fijación	OTROS
CORROSIÓN	Atascamiento	Desalineación	Fugas
Por temperatura	Carbonización	Desplazamiento	Pérdida de aislamiento
Exfoliación	Acumulación de polvo	Solidificación	Pérdida de conducción
Por picadura	Incrustamiento	Apriete	Errores humanos
Por humedad	Taponamiento	Acuñamiento	Errores de diseño
Oxidación		Aflojamiento	Etc.

Figura 12 - Tabla Modos de Falla

Fuente (Moubray, 2004).

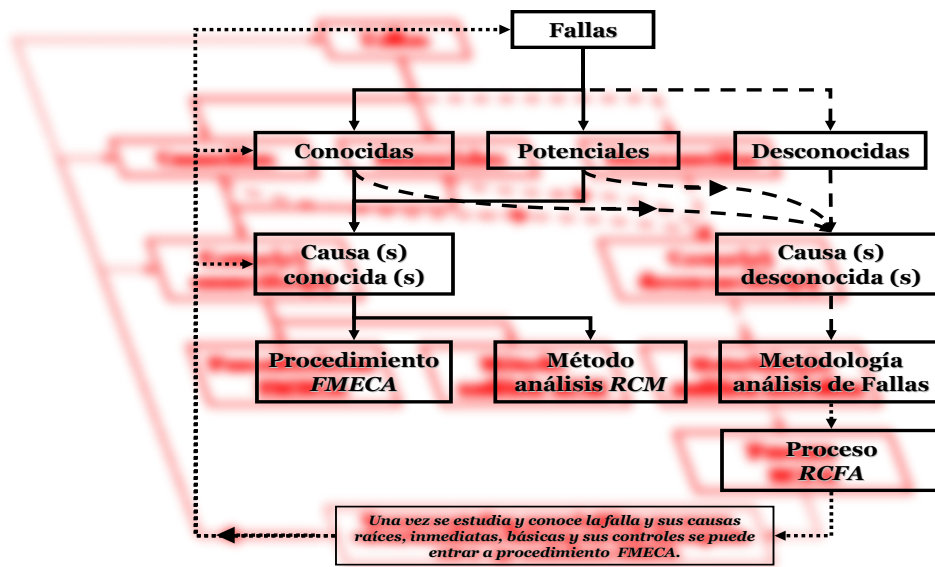


Figura 13 - Aplicabilidad de FMECA Y MCC según falla y causa

Fuente (Mora, 2017)

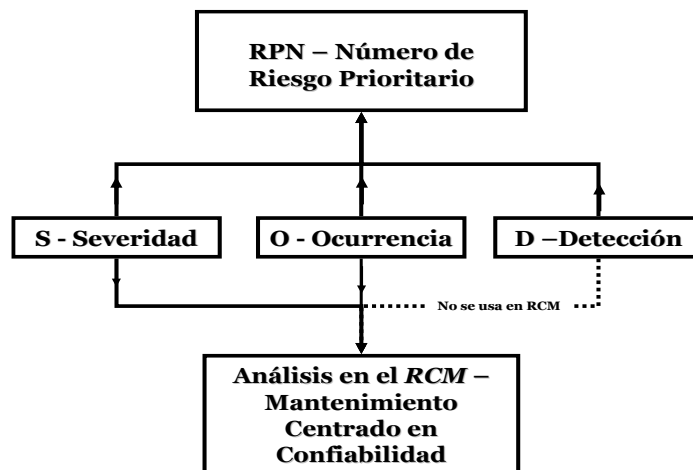


Figura 14 - Diferencias entre MCC y FMECA, con relación a parámetros que usan.

Fuente (Mora, 2017)

Artículo 9 del Aparte 3 Sección 1 - Metodología Análisis de Fallas

El propósito de la técnica de análisis de los efectos, los modos y las causas de fallas es poder conocer completamente el equipo entero mediante la identificación de los sistemas y de los componentes que lo conforman, el diseño, los procesos, los elementos y los materiales de fabricación, los ensambles y los sub-ensambles parciales, así como todos los demás aspectos pertinentes que permitan aplicar el análisis integral de fallas (Harris, 1994).

La metodología de análisis de fallas parte de la base de la presencia o detección repentina de una situación fuera del estándar, que manifiesta de alguna forma la falta de funcionalidad total o parcial de una máquina o elemento. Se describe como problema o efecto causante, a una falla que aún no se soluciona o erradica. Se puede enunciar como modo de falla a las deficiencias que se observan o se perciben en el sistema o máquina al momento de reportar la falla (Mora, 2017).

Artículo 10 del Aparte 3 Sección 1 - Procedimiento FMECA - RPN

El procedimiento *FMECA* tiene como función principal organizar todas las tareas correctivas, modificativas o proactivas a realizar de mantenimiento, después de haber realizado exhaustivamente el análisis de fallas y el *RCFA*²⁸, el método procedimental *FMECA* parte del concepto de que ya se conocen todas las fallas reales y potenciales, se sabe de los modos de fallas en que se pueden presentar y se tiene un perfecto dominio de todas las funciones principales y auxiliares de los elementos o máquinas a evaluar con el procedimiento.

²⁸ RCFA: Análisis y causa raíz de las fallas.

Por su parte el *RPN* lo que hace es jerarquizar cada una de las tareas a realizar en los diferentes elementos o equipos, con el fin de priorizar los esfuerzos en los equipos que más lo requieran acorde a su grado de criticidad.

El procedimiento *FMECA* se puede aplicar en forma independiente²⁹, más sin embargo el *RPN* es parte fundamental del *FMECA* (Mora, 2017).

Las etapas de desarrollo del procedimiento *FMECA* son:

- Describir las funciones: primaria y secundarias de los equipos.
- Establecer todas las fallas funcionales reales y potenciales conocidas.
- Los modos de fallas.
- Evaluar las consecuencias y los efectos de cada modo de falla, con su falla y su función.
- Medir el *RPN* mediante la evaluación de la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la posibilidad de detección.
- Establecer las acciones correctivas o planeadas. Proactivas.
- Realizar las tareas.

²⁹ Una vez se conozcan todas las fallas reales o potenciales, para lo cual es posible haber utilizado el análisis de falla y/o el RCFA en forma previa; aunque no es realmente indispensable, pues se puede tener un dominio completo de las fallas sin tener necesariamente que haber aplicado los dos métodos descritos en forma total.

- Medir nuevamente el *RPN* y replantear las acciones.

Artículo 11 del Aparte 3 Sección 1 - Procedimientos para calcular severidad

El procedimiento para realizar los cálculos de la severidad tiene dos formas básicas, que son las más comunes, entre ellos destaca el Método ALADON, que coincide con el software informático (I RCM S) y el método OREDA.

Elemento 1 del Artículo 11 del Aparte 3 Sección 1 - Método ALADON

A continuación, se relaciona dos ejes que identifican el grado de Severidad y Ocurrencia, como se puede observar gráficamente en las siguientes figuras:

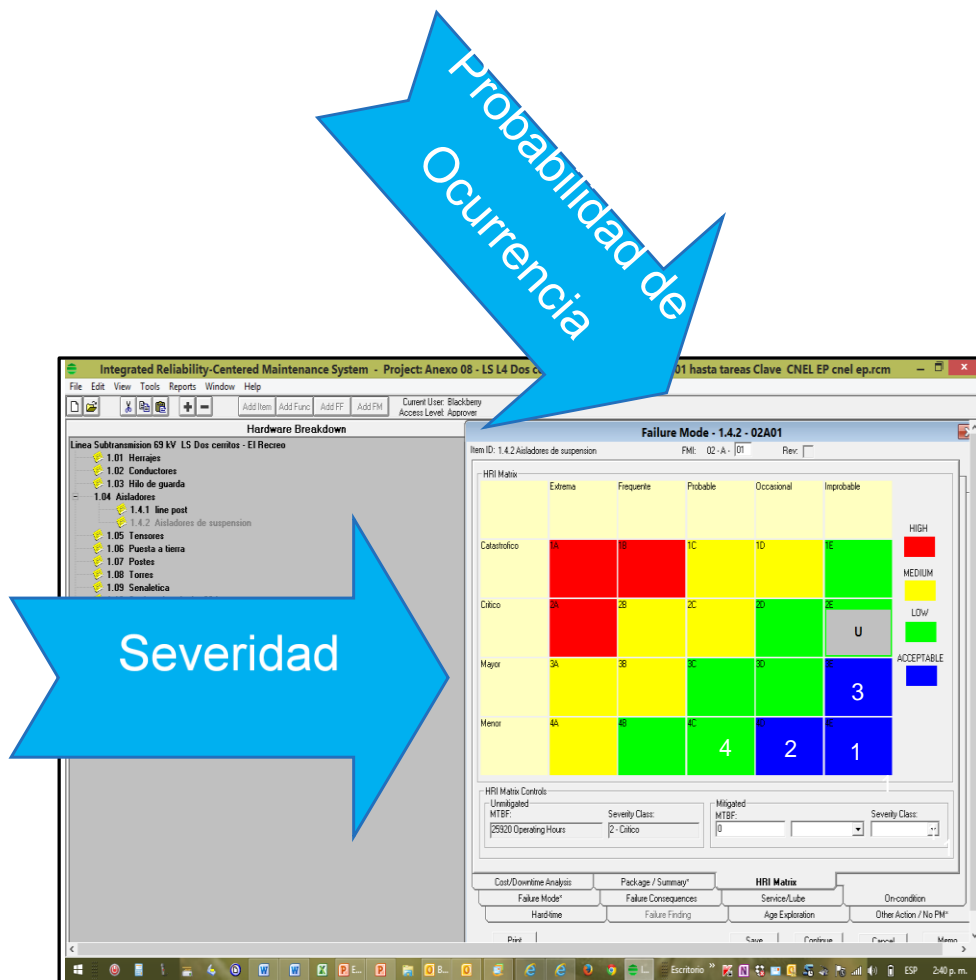


Figura 15- Cálculo de Riesgo según I RCM S-ALADON

Fuente (US-NAVAIR, 2016)

Las calificaciones son de orden cualitativo, funciona en rangos en la parte de ocurrencia, es decir entre rangos de intervalos de horas, tal como se define en el Set Up del I RCM S.

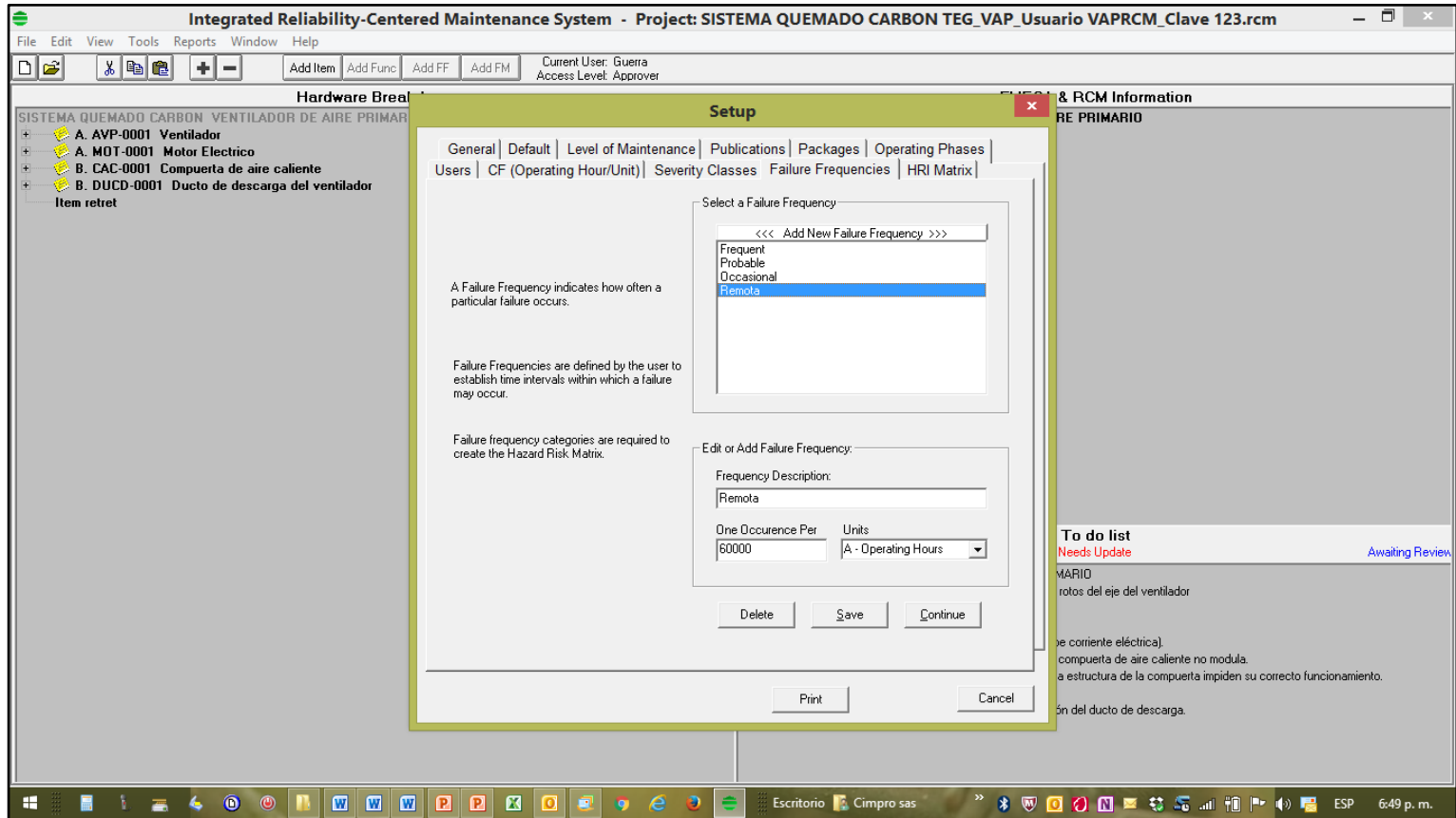


Figura 16- Frecuencias de ALADON y del IRCMS

Fuente (U.S. Army, 1972)

Los rangos de las frecuencias se definen en los rangos de frecuente entre 0 y 10 horas, probable entre 10 y 100 horas, ocasional entre 100 y 1000 horas, remota entre 1000 y 60000 horas.

Los rangos de la severidad son meramente cualitativos, la combinación de ambos da la ubicación en el cuadro cualitativo, de colores, que representa la siguiente prioridad acorde a la combinación de severidad y ocurrencia.

El otro método consiste en valoraciones numéricas, que tiene dos procesos, uno es la ecuación, otro son los criterios y otros los valores relativos de las tablas.

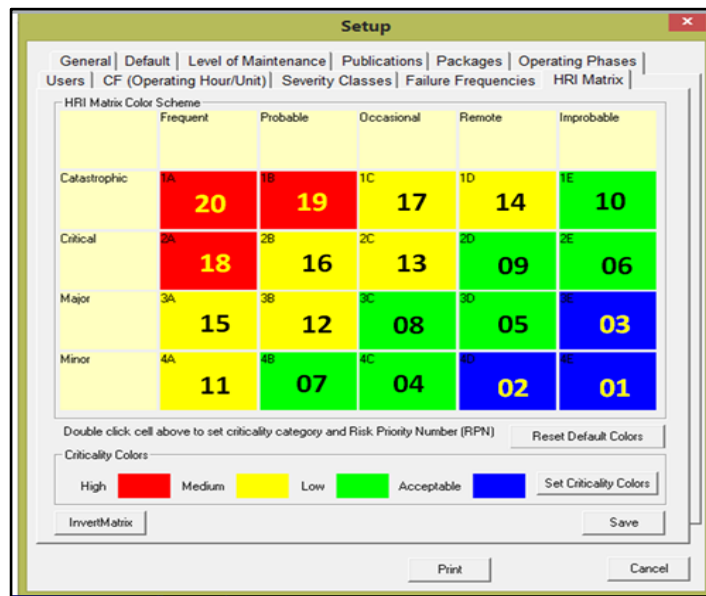


Figura 17- Matriz clasificación de riesgos software IRCMS

Fuente (US-NAVAIR, 2016)

Casillas				Calificación Ubicación	
1	2	3	4	Código	Nivel de Criticidad
1A				1A	Muy Crítico
1B				1B	Muy Crítico
	2A			2A	Muy Crítico
1C				1C	Medianamente Crítico
1D				1D	Medianamente Crítico
	2B			2B	Medianamente Crítico
	2C			2C	Medianamente Crítico
		3A		3A	Medianamente Crítico
		3B		3B	Medianamente Crítico
			4A	4A	Medianamente Crítico
1E				1E	Criticidad Baja
	2D			2D	Criticidad Baja
	2E			2E	Criticidad Baja
		3C		3C	Criticidad Baja
		3D		3D	Criticidad Baja
			4B	4B	Criticidad Baja
			4C	4C	Criticidad Baja
			3E	3E	Aceptable en Criticidad
			4D	4D	Aceptable en Criticidad
			4E	4E	Aceptable en Criticidad

Figura 18 - Clasificación de riesgos con números y colores

Fuente (US-NAVAIR, 2016).

Elemento 2 del Artículo 11 del Aparte 3 Sección 1 - Método OREDA

Una vez se establecen todas las funciones, sus fallas funcionales y sus correspondientes modos de fallas, se procede a calificar la severidad, la posibilidad de ocurrencia y la probabilidad de detección temprana de las fallas, con el fin de constituir el valor del *RPN*, con el cual se jerarquizan las tareas correctivas, modificativas y proactivas a realizar con el fin de erradicar o controlar las fallas.

$$\mathbf{RPN = Severidad \times Posibilidad de Ocurrencia \times Probabilidad de Deteccion}$$
$$\mathbf{= S \times O \times D}$$

En MCC para el cálculo solo se toman Severidad y Posibilidad de ocurrencia.

El cálculo de la Severidad se realiza en dos partes, una de ellas asigna unos valores probabilísticos a cada criterio y en la segunda parte que se obtiene por análisis y discusión del GCF³⁰ al utilizar las tablas internacionales de valores de los distintos criterios de severidad.

La calificación de la Severidad se realiza mediante el concurso de seis criterios:

- FO - Fallas Ocultos
- SF - Impacto Seguridad Física
- MA - Impacto Medio Ambiente
- IC - Impacto en Imagen Corporativa
- OR - Costos de Reparaciones o Mantenimientos
- OC - Efectos en Clientes

³⁰ GCF: Grupo Caza Fallas.

Consecuencias de las Fallas

Evaluación:
se califica **Riesgo = Severidad x Ocurrencia =**

La **Severidad** se evalúa en los siguientes parámetros:

- Fallos Ocultos ▲
- Impacto Seguridad Física ▲
- Impacto Medio Ambiente ▲
- Impacto en Imagen Corporativa ▲
- Costos de Reparaciones o Mantenimientos ▲
- Efectos en Clientes ▲

Severidad = FO X K_{FO} + SF X K_{SF} + MA X K_{MA} + IC X K_{IC} + OR X K_{OR} + OC X K_{OC} -

La Sumatoria de Factores probabilísticos K_{FO} + K_{SF} + K_{MA} + K_{IC} + K_{OR} + K_{OC} debe ser 1.00 o 100%

Figura 19 - Calificación de severidad

Fuente (Mora L. , 2003)

Los valores de los criterios de severidad se discuten entre los miembros, acorde al caso específico y a las circunstancias, mediante la obtención de los valores a partir de las siguientes opciones:

FO - Fallos Ocultos	
No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores - 0	0
Existe una baja posibilidad de que la falla NO sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores - 1	1
En condiciones normales la falla siempre será oculta y generará fallas múltiples posteriores - 2	2
Existe una baja posibilidad de que la falla SÍ sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores - 3	3
La falla siempre es oculta y ocasionará fallas múltiples graves en el sistema - 4	4

Figura 20 - Criterio Fallos ocultos

Fuente (Mora L. , 2003)

SF - Seguridad Física	
No afecta Personas ni equipos - 0	0
Afecta a una Persona y es posible que genere incapacidad de tipo temporal - 1	1
Afecta de dos a cinco Personas y puede generar incapacidad de tipo temporal - 2	2
Afecta a más de cinco Personas y puede generar incapacidad de tipo temporal o permanente - 3	3
Genera incapacidad permanente o la muerte, a una o más Personas - 4	4

Figura 21 - Criterio Seguridad Física

Fuente (Mora L. , 2003)

MA - Medio Ambiente	
No afecta el medio ambiente - 0	0
Afecta el MA pero se puede controlar. No daña el Ecosistema. - 1	1
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el Ecosistema. Es reversible en menos de seis meses con un valor inferior a 5.000 dólares. - 2	2
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el Ecosistema. Es reversible en menos de tres años con un valor inferior a 50.000 dólares. - 3	3
Afecta los recursos sociales y el Ecosistema. Es reversible en más de tres años o es irreversible. Su impacto social y ecológico es superior a los 50.000 dólares. - 4	4

Figura 22 - Criterio Medio Ambiente

Fuente (Mora L. , 2003)

IC - Imagen Corporativa	
No es relevante - 0	0
Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos - 1	1
Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión inferior a 1.000 dólares - 2	2
Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión entre 1.000 y 10.000 dólares - 3	3
Afecta credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión mayor a 10.000 dólares. Puede ser irreversible. - 4	4

Figura 23 - Criterio Imagen Corporativa

Fuente (Mora L. , 2003)

OR - Costos de Reparación	
Entre 1 y 50 dólares - 0	0
Entre 51 y 500 dólares - 1	1
Entre 501 y 5.000 dólares - 2	2
Entre 5.001 y 50.000 dólares - 3	3
Mayor a 50.001 dólares - 4	4

Figura 24 - Criterio Costos de Reparación

Fuente (Mora L. , 2003)

OC - Efectos en Clientes	
Entre 1 y 50 dólares - 0	0
Entre 51 y 500 dólares - 1	1
Entre 501 y 5.000 dólares - 2	2
Entre 5.001 y 50.000 dólares - 3	3
Mayor a 50.001 dólares - 4	4

Figura 25 - Criterios Efectos en Clientes

Fuentes (Mora L. , 2003)

Ocurrencia	
Frecuente - 1 falla en 1 mes - 4	4
Ocasional - 1 falla en 1 año - 3	3
Remota - 1 falla en 5 años - 2	2
Poco probable - 1 falla en 20 años - 1	1

Figura 26 - Criterio Ocurrencia

Fuente (Mora L. , 2003)

VALOR DE K POR CADA FACTOR	
Fallos Ocultos = K_{FO}	0.05 O 5%
Impacto Seguridad Física = K_{SF}	0.20 O 20%
Impacto Medio Ambiente = K_{MA}	0.10 O 10%
Impacto en Imagen Corporativa = K_{IC}	0.30 O 30%
Costos de Reparaciones o Mantenimientos = K_{OR}	0.30 O 30%
Efectos en clientes = K_{OC}	0.30 O 30%

Figura 27 - Factores de peso en severidad

Fuente (Mora L. , 2003)

Aparte 4 Sección 1 - Conclusiones de la sección 1

La sección registra los conceptos de Mantenimiento, que permiten entender el comportamiento de los equipos de acuerdo con su comportamiento operacional los cuales se pueden aplicar de clase mundial, y permiten planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar totalmente la gestión de mantenimiento en cualquier tipo de empresa sin importar la economía en la cual se desarrolla (Mora, 2017).

Las tácticas de confiabilidad son una secuencia de actividades o pasos que permiten tener un control ideal del activo, esto es siempre y cuando se lleve con rigurosidad los conceptos descritos.

Sección 2 - Caracterización

Aparte 1 - Sección 2 - Objetivo número 2

DOS - Caracterización - Describir los componentes críticos de los principales sistemas y subsistemas de la línea de extrusión de mallas CORELCO, para determinar las acciones apropiadas de mantenimiento, hacia la aplicación de confiabilidad, mediante la evaluación del riesgo con la metodología RPN³¹ Número de Riesgo Prioritario (Severidad por Ocurrencia por Detectabilidad) para determinar la criticidad. Nivel dos Comprender - Escala de Bloom & Gagné.

Aparte 2 - Sección 2 - Introducción Sección 2

Este numeral presenta la línea de extrusión de mallas CORELCO, se delimita el volumen de control del proceso donde se muestra los sistemas críticos, se caracteriza cada uno de los sistemas y subsistemas principales y se describe en detalle el proceso de fabricación de una malla plástica para poner en contexto la importancia de cada uno de los sistemas citados.

Aparte 3 - Sección 2 - Desarrollo de capítulo 2

En esta sección se presenta la línea de extrusión de mallas CORELCO, sus generalidades principales, sistemas, subsistemas, componentes y la evaluación del riesgo con la metodología RPN³² Número de Riesgo Prioritario.

³¹ RPN Número de Riesgo Prioritario en inglés *Risk Priority Number*

³² RPN Número de Riesgo Prioritario en inglés *Risk Priority Number*

Artículo 1 del Aparte 3 Sección 2 - Extrusión de plásticos

La palabra extrusión proviene del latín extrudere que significa forzar un material a través de un orificio. La extrusión consiste en hacer pasar bajo la acción de la presión un material termoplástico a través de un orificio con forma más o menos compleja (hilera), de manera tal, y continua, que el material adquiera una sección transversal igual a la del orificio.

En la extrusión de termoplásticos el proceso no es tan simple, ya que durante el mismo, el polímero se funde dentro de un cilindro y posteriormente, enfriado en una calandria³³, Este proceso de extrusión tiene por objetivos, proceso que es normalmente continuo, usarse para la producción de perfiles, tubos, películas plásticas, hojas plásticas, entre otros (Mariano, 2011).

La extrusión de polímeros es un proceso industrial mecánico, en donde se realiza una acción de moldeado del plástico, que, por flujo continuo con presión y empuje, se lo hace pasar por un molde encargado de darle la forma deseada.

³³ La calandra o calandria es una máquina que se basa en una serie de rodillos de presión que se utilizan para formar o una hoja lisa de material. La aplicación principal de las calandras se encuentra en el final proceso de fabricación de papel, algodón, lino, sedas y diversas telas hechas por el hombre y los polímeros, tales como láminas de polímero como vinilo (PVC) y ABS, y en menor medida, polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno y poliestireno.

El polímero fundido o en estado visco-elástico³⁴ es forzado a pasar a través de un dado también llamado cabezal, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo o tornillo que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón o cilindro, con una separación milimétrica³⁵ entre ambos elementos.

El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido (Wikipedia , 2018).

³⁴ Es un tipo de comportamiento reológico anelástico que presentan ciertos materiales que exhiben tanto propiedades viscosas como propiedades elásticas cuando se deforman.

³⁵ Entre 0.1mm y 0.15mm.

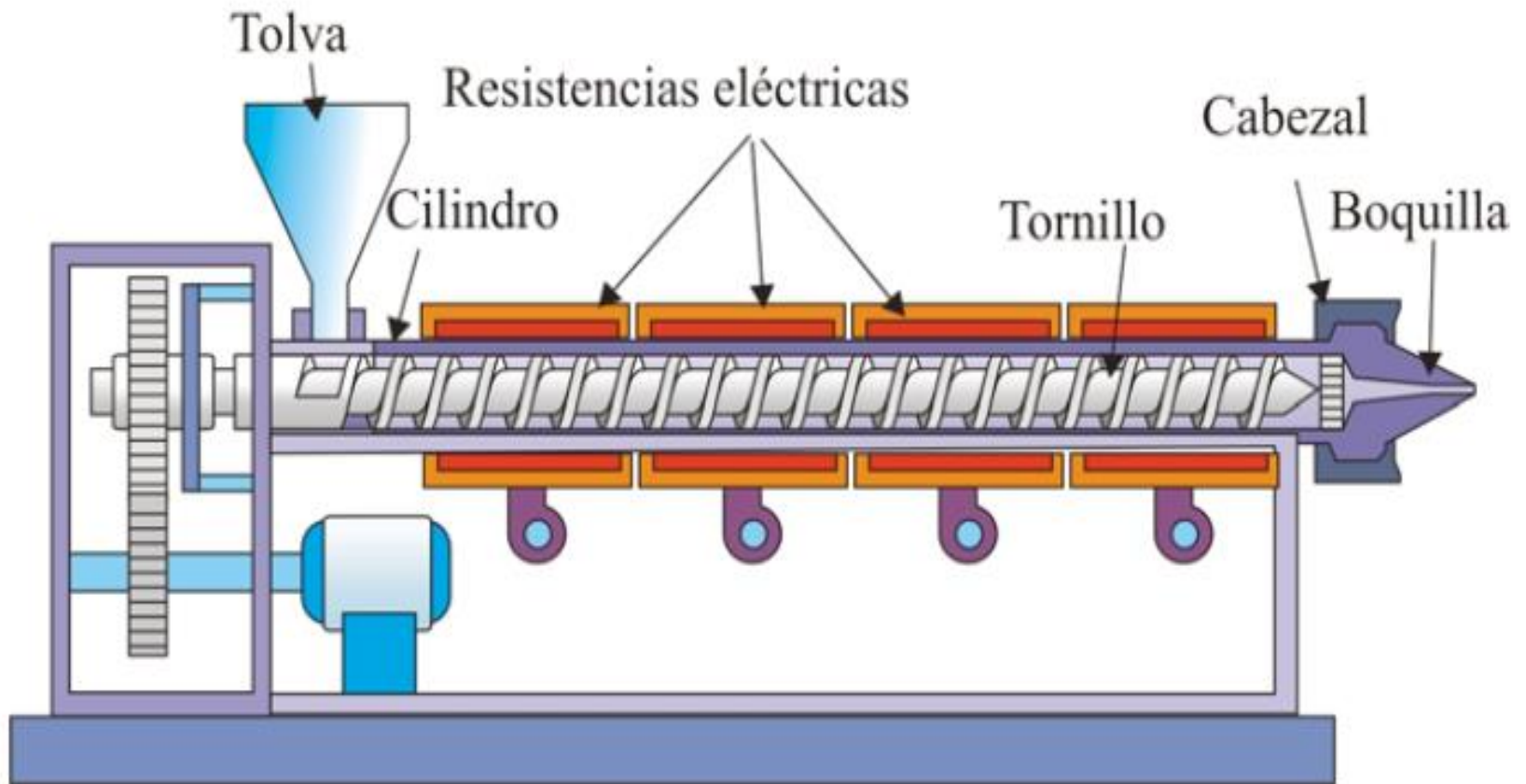


Figura 28 - Representación esquemática de una extrusora de tornillo sencillo

Fuente (Beltran & Marcilla, 2012)

Artículo 2 del Aparte 3 Sección 2 - Extrusión de mallas plásticas

Las mallas plásticas son unos productos hechos de polipropileno y polietileno de alta densidad donde el cabezal de extrusión se llama de batimiento, que permite producir todo tipo de mallas de plástico, cuadradas o rectangulares, con o sin orientación molecular³⁶.



Figura 29 - Extrusión de malla plástica con cabezal de batimiento

Fuente (Corelco, 2014)

³⁶ Proceso al cual se somete la malla para estirla en sentido longitudinal o transversal, para mejorar su resistencia a la tensión de acuerdo con su aplicación.

Artículo 3 del Aparte 3 Sección 2 - CORELCO

Fundada en 1983 por Alain Courant³⁷, Corelco se estableció rápidamente en el mercado mundial de plásticos como fabricante de líneas de extrusión con una participación de exportación de alrededor del 70%. Con los años, Corelco ha podido cumplir con todos los desafíos técnicos que le permitió ganar notoriedad con el deseo de anticipar el futuro al adoptar ideas innovadoras que lo convierten en uno de los principales actores de la profesión actual (Corelco, 2014).

Elemento 1 del Artículo 3 del Aparte 3 Sección 2 - Mallas procesadas en la extrusora CORELCO

La línea de extrusión de mallas CORELCO procesa mallas plásticas en polipropileno y polietileno de alta densidad. Compañía de Empaques aprovecha esta cualidad para manufacturar y vender las mallas que se nombran a continuación:

Tabla 3 - Mallas procesadas

<i>Tipo de malla</i>	<i>Aplicación</i>	<i>Material</i>
<i>1 - Antigranizo</i>	<i>Protección de cultivos y vehículos</i>	<i>Resinas sintéticas</i>
<i>2 - Antipajaros</i>	<i>Protección cultivos</i>	<i>Resinas sintéticas, aditivos UV</i>
<i>3 - Cuadrada cedazo</i>	<i>Secado, filtración, cerramiento</i>	<i>Polipropileno</i>

³⁷ Empresario Francés.

<i>4 - Cerramiento</i>	<i>Cerramiento</i>	<i>Resinas sintéticas, aditivos UV</i>
<i>5 - Cuadrada</i>	<i>Decoración, jardinería, cerramiento</i>	<i>Resinas sintéticas</i>
<i>6 - Gallinero</i>	<i>Cerramiento en general</i>	<i>Resinas sintéticas, aditivos UV</i>
<i>7 - Señalización</i>	<i>Seguridad construcción</i>	<i>Polipropileno</i>

Fuente (Propia, 2018)

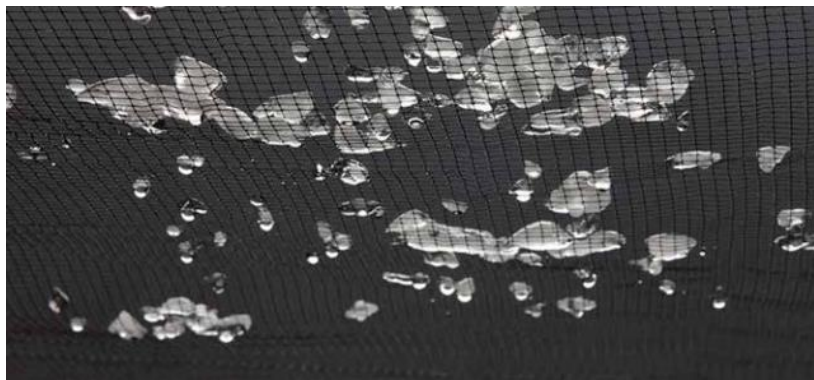


Figura 30 - Malla antigranizo

Fuente (Compañía de Empaques S.A, 2016)

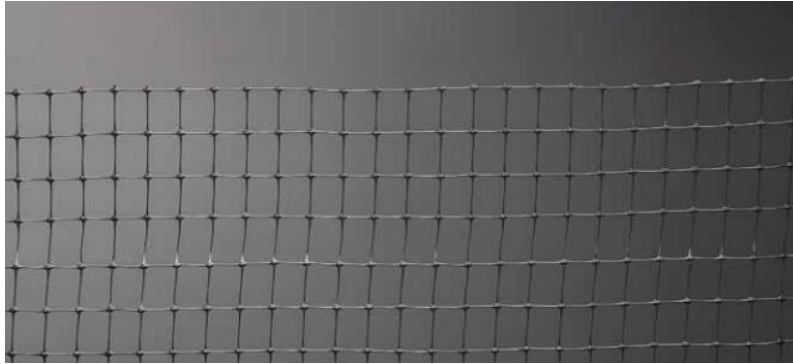


Figura 31 - Malla antipajaros

Fuente (Compañía de Empaques S.A, 2016)

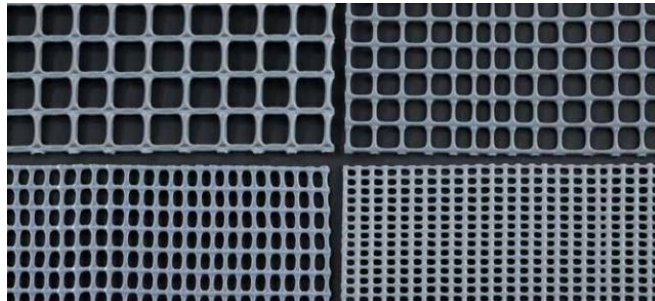


Figura 32 - Malla cuadrada cedazo

Fuente (Compañía de Empaques S.A, 2016)



Figura 33 - Malla cerramiento

Fuente (Compañía de Empaques S.A, 2016)



Figura 34 - Malla cuadrada

Fuente (Compañía de Empaques S.A, 2016)

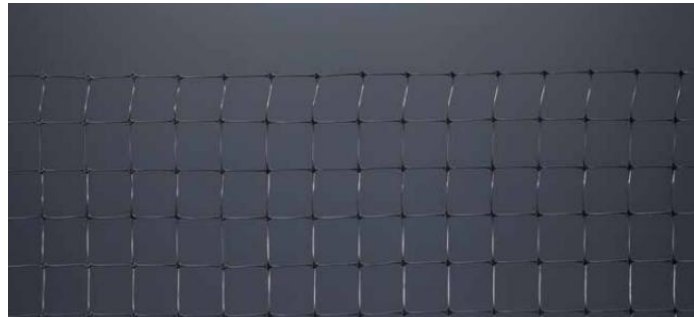


Figura 35 - Malla gallinero

Fuente (Compañía de Empaques S.A, 2016)

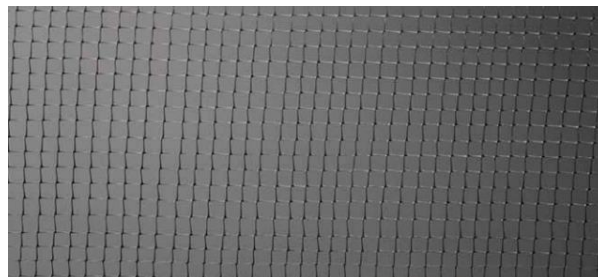


Figura 36 - Malla cuadrada

Fuente (Compañía de Empaques S.A, 2016)



Figura 37 - Malla señalización

Fuente (CiaEmpaques@, 2016)

Artículo 4 del Aparte 3 de la Sección 2 - Volumen de Control Línea de extrusión CORELCO

A continuación, se presenta el volumen de control de la línea de extrusión de mallas CORELCO, donde se muestra los sistemas a caracterizar: Extruder, Cabezal, Tanque de refrigeración, MDO³⁸, TDO³⁹ y enrollador.

³⁸ MDO: Machine Direction Orientation (orientación en dirección de la maquina)

³⁹ TDO: Transversal Direction Orientation (orientación en dirección transversal)

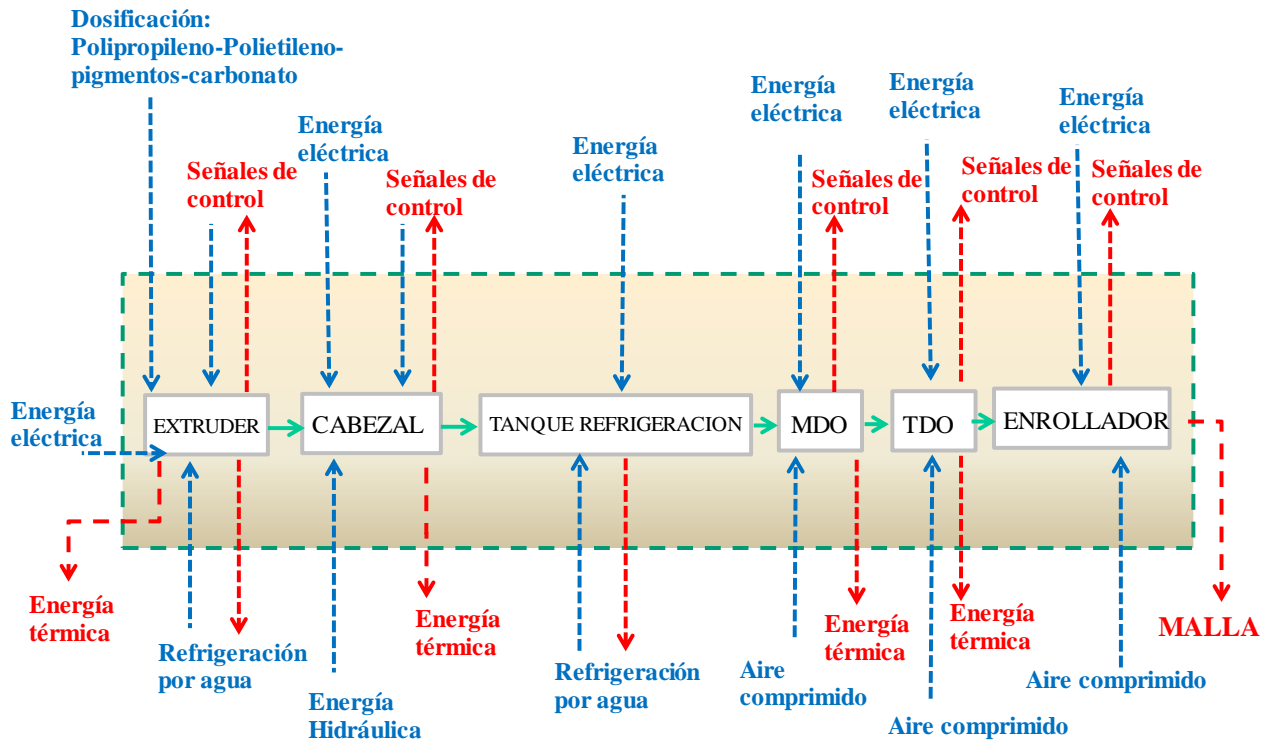


Figura 38 - Volumen de control Línea de extrusión de mallas CORELCO

Fuente (Suarez, 2018)

Artículo 5 del Aparte 3 Sección 2 - Caracterización línea de extrusión de mallas CORELCO

La línea de extrusión de mallas CORELCO, es un equipo que se construyó para manufacturar mallas plásticas sin orientación⁴⁰, mono orientadas⁴¹ y biorientadas⁴², todo esto de acuerdo con su aplicación. Para esos fines la línea esta provista de diferentes sistemas, subsistemas y componentes, los cuales son:

- Extruder
- Cabezal de extrusión para mallas plásticas.
- Tanque de refrigeración.
- Recipiente de mono-orientación.
- Recipiente de bi-orientación.
- Enrolladora semi-automática.

Elemento 1 del Artículo 5 del Aparte 3 de la Sección 2 - Extruder

El extruder se encarga de recibir, mezclar, fundir y generar presión a la materia prima a través de un cilindro y se empuja por el tornillo o Husillo hasta el cabezal.

⁴⁰ Hace referencia a mallas sin ningún estiramiento.

⁴¹ Mallas con estiramiento longitudinal.

⁴² Mallas con estiramiento transversal.



Figura 39 - Extruder CORELCO

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Subsistemas:

1. Motor principal.
2. Caja reductora.
3. Moto ventiladores (zona de calefacción).
4. Térmico.
5. Eléctrico y de control.
4. Filtración

Características técnicas:

- Número de pedido: **3441**
- Fabricante: **KOMAX**
- Tipo extrusor N°1: **ELIPSE 60-30D H=1150**
- Tipo extrusor N°1: **ELIPSE 60-30D H=1210**
- Tensión de suministro: **3 x 440V**
- Frecuencia: **60 Hz**
- Número de zonas de calefacción: **6 para el cabezal de roscar**
- Flujo plástico para PP copolímero: **130 Kg/hora mín.**
- Flujo plástico para PP homopolímero: **100 Kg/hora mín.**
- Potencia instalada: **2 x 110 kW**
- Altura de extrusión del extrusor N°1: **1150 mm.**
- Altura de extrusión del extrusor N°2: **1210 mm.**
- Color: **azul RAL 5015**

Elemento 2 del Artículo 4 del Aparte 3 de la sección 2 - Cabezal

El cabezal se encarga de recibir la masa fundida con presión que viene del extruder, lo recibe, lo transporta por sus conductos internos donde la masa fundida se obliga a pasar por las ranuras que tiene el dado del cabezal para luego convertirse en filamentos los cuales se cortan con un subsistema hidráulico para al final formar una malla.



Figura 40 - Cabezal

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Subsistemas:

1. Hidráulico

2. Térmico

3. Formación de malla

4. Eléctrico y de control

Características técnicas:

- Número de pedido: **3442**
- Tipo: **TM120**
- Tensión de suministro: **3 x 440V**
- Frecuencia: **60Hz**
- Potencia instalada: **12 kW**

Elemento 3 del Artículo 5 del Aparte 3 de la sección 2 - Tanque de refrigeración

Se encarga de recibir la malla que sale del cabezal a alta temperatura y por medio de un choque térmico con el agua fría se endurece, la malla se guía por un cilindro en aluminio en el interior del tanque denominado mandril, que ayuda a darle forma, y al final se guía y pisa por rodillos.



Figura 41 - Tanque de refrigeración

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Subsistemas:

1. Neumático.
2. Eléctrico y de control.
3. Moto reductor.
4. Bombeo.
5. Guiado.

Características técnicas:

- Número de pedido: 3444
- Tipo: 1342
- Tensión del suministro: 3 x 440V
- Frecuencia: 60Hz
- Anchura rodillo: 1300 mm
- Retorno rodillo : Ø240
- Tipo de desgaste: Hypalon 50 orillas
- Escala de velocidad: $1 < V < 15$ m/mn
- Altura del agua: 2815 mm
- Volumen del agua: 4300 l
- Volumen del agua por cada cambio de equipamiento 2200 l.

Motor de propulsión:

- Fabricante: SEW
- Tipo: KA67TDT80N4
- Potencia: 0.75 kW
- Par de torsión: 455 Nm
- Índice de reducción: 1/108.3

Bomba centrífuga:

- Fabricante: JETLY
- Tipo: 033215 (K30/70T)
- Potencia: 0.75Kw 60 Hz

Elemento 4 del Artículo 5 del Aparte 3 de la sección 2 - recipiente de Mono-orientación

Se encarga de recibir la malla, la somete a agua a alta temperatura, 94 grados centígrados, para prepararla a recibir el estiramiento longitudinal con la ayuda de una serie de rodillos guías a la entrada con una velocidad menor, y rodillos guías a la salida con una velocidad mayor.



Figura 42 - MDO

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Subsistemas:

1. Neumático
2. Moto reductor-entrada
3. Moto reductor-salida.
4. Motor reductor guía.

5. Térmico

6. Eléctrico y de control.

Características técnicas:

- Número pedido: **3445**
- Tipo: **1050**
- Tensión del suministro: **3 x 440V**
- Frecuencia: **60Hz**
- Anchura rodillo: **1400 mm**
- Número resistencia: **12**
- Poder resistencia: **3400W**
- Tensión resistencia: **440V**
- Altura del agua: **130 mm**
- Volumen del agua: **330 l**
- Consumo del agua: **45 l/h**

Motor de entrada:

- Fabricante: **SEW**
- Tipo: **SA87TDV100L4**
- Potencia: **3.7 kW**
- Par de torsión: **1 410 Nm**
- Índice reducción: **1/86.15**
- Rodillo Ø250: **1**
- Rodillo Ø160: **2**
- Tipo de desgaste: **Hypalon 50 orillas**

- Escala velocidad: $2 < V_i < 15$ m/mn

Motor de extensión:

- Fabricante: **SEW**
- Tipo: **KA87T DV112M4**
- Potencia: **4 kW**
- Par de torsión: **970 Nm**
- Índice reducción: **1/44.02**
- Rodillo Ø240: **1**
- Rodillo Ø120: **2**
- Tipo de desgaste: **Hypalon 50 orillas**
- Escala velocidad: $3 < V_s < 40$ m/mn

Motor de salida:

- Fabricante: **SEW**
- Tipo: **KA37T DT80N4/VS**
- Potencia: **0.75 kW**
- Par de torsión: **98 Nm**
- Índice reducción: **1/23.36**
- Rodillo Ø120: **1**
- Rodillo Ø100: **1**
- Tipo de desgaste: **Hypalon 50 orillas**
- Escala velocidad: $2.5 < V_o < 43$ m/mn

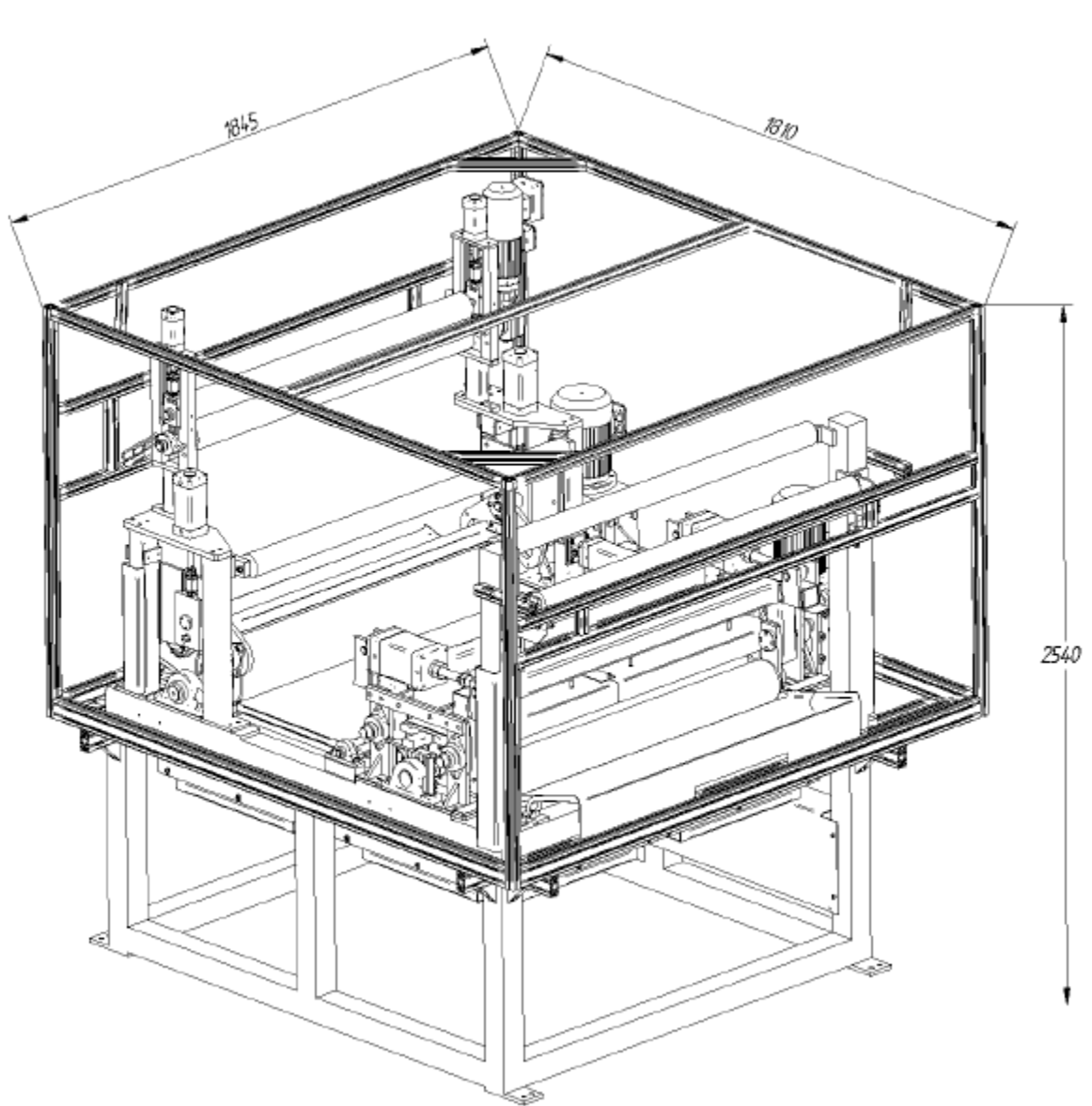


Figura 43 - Esquemático MDO

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Elemento 5 del Artículo 5 del Aparte 3 de la sección 2 - recipiente de Bi-orientación

Después de recibir la malla, se somete a agua a alta temperatura, 94 grados centígrados, luego un par de cadenas dobles con pines, las cuales se guían sobre polímeros, transporta la malla, y a medida que avanza por su disposición angular la estira de manera transversal.



Figura 44 - TDO

(Suarez, Propia, 2018)

Subsistemas:

1. Motor cadena 1
2. Motor cadena 2.
3. Transporte 1.
4. Transporte 2.
5. Térmico e hidráulico.
6. Eléctrico y de control.
7. Neumático.

Características técnicas:

- Número de pedido: 3447
- Tipo: 1062
- Tensión de suministro: 3 x 440V
- Frecuencia: 60Hz
- Anchura rodillo: 2600 mm
- Poder resistencia: 133 kW
- Tensión resistencia: 440 V
- Altura del agua: 160 mm
- Volumen del agua: 1300 l
- Consumo del agua: 70 l/h.

Motores de las cadenas espaciadoras:

- Fabricante: SEW
- Tipo: KAF37DT90L4
- Potencia: 1.5kW
- Par de torsión: 45 Nm
- Índice de reducción: 1/5.36

Motor Cadenas propulsoras:

- Fabricante: SEW
- Tipo: DFV112M4/VS/EV1T
- Potencia: 4 kW

Reductor cadenas propulsoras:

- Fabricante: SEW
- Tipo: KAF67AD2-ZR
- Índice de reducción: 1/38.39
- Escala de velocidades: $4 < V_e < 43$ m/mn

Motor extracción cadenas:

- Fabricante: SEW
- Tipo: KA37TDT80N4/VS
- Potencia: 0.75kW
- Par de torsión: 98 Nm
- Índice de reducción: 1/23.36
- Escala de velocidades: $3 < V_e < 46$ m/mn

Motor de salida:

- Fabricante: **SEW**
- Type: **KA37TDT80N4/VS**
- Power: **0.75 kW**
- Torque: **98 Nm**
- Índice de reducción: **1/23.36**
- Escala de velocidades: **3 < Ve < 46 m/mn**

Motor de corte de bandas perdidas:

- Fabricante: **SEW**
- Type: **DFT71D2**
- Power: **0.55 kW**
- Escala de velocidades: **3300 tr/min**

Motor Arrastre de bandas perdidas:

- Fabricante: **LEROY SOMER**
- Tipo: **MVA M53C 20 MI 4P LS 63**
- Potencia: **0.18kW**
- Índice de reducción: **1/20**
- Escala de velocidades: **1700 tr/min**

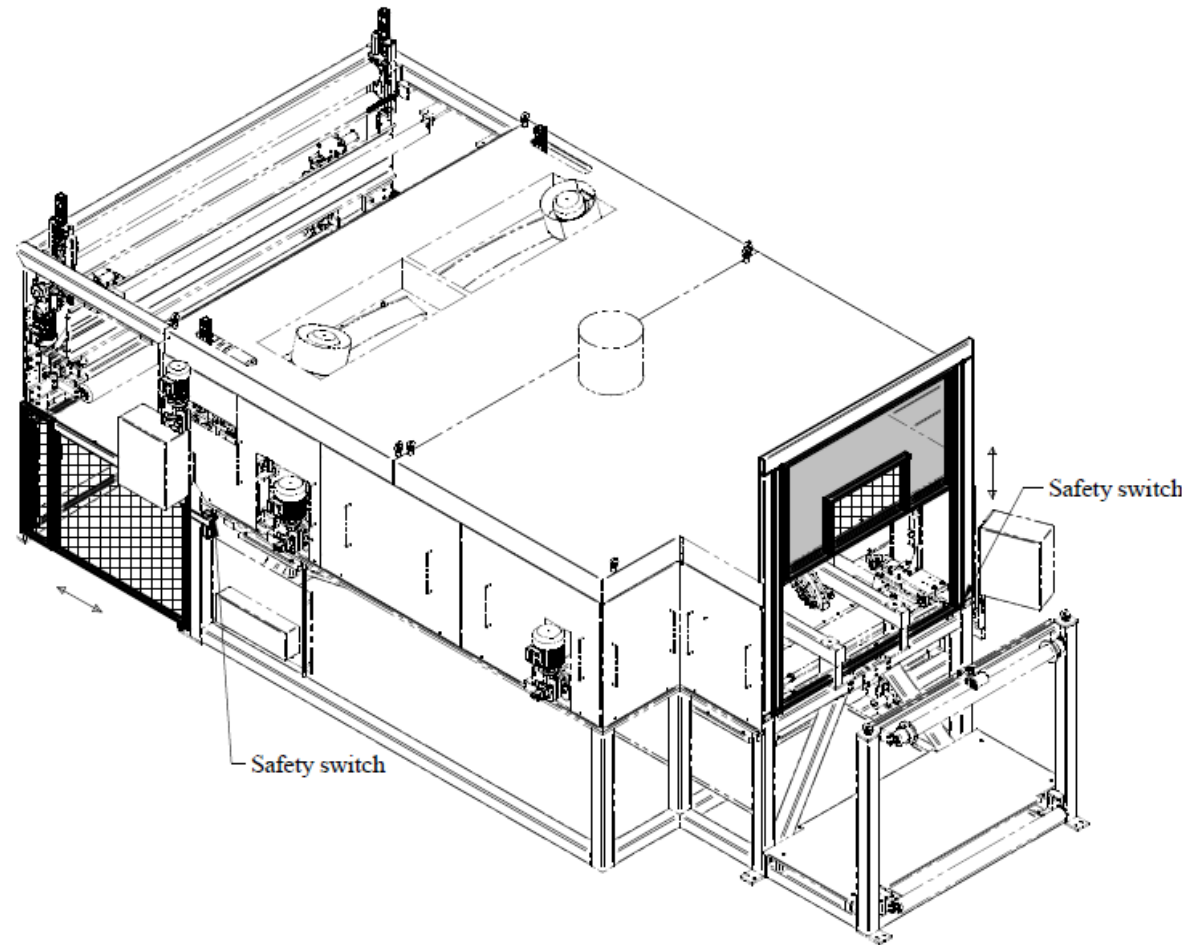


Figura 45 - Esquemático TDO

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

*Elemento 6 del Artículo 5 del Aparte 3 de la sección 2 - enrolladora
semiautomática*

Recibe la malla, mide la cantidad a enrollar, la enrolla y al final la corta.



Figura 46 - Enrollador semiautomático

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Subsistemas:

1. Transporte de malla.
2. Corte de malla.
3. Moto reductor enrollador superior.
4. Moto reductor enrollador inferior.

Características técnicas:

- Número de pedido: **3449**
- Tipo: **1243**
- Tensión de suministro: **3 x 440V**
- Frecuencia: **60Hz**
- Anchura rodillo: **2300 mm**

Motor 1:

- Fabricante: **LENZE**
- Tipo: **GKS05 3M HBR 090N12 003A**
- Potencia: **1.1 kW**
- Escala de velocidades: **$3 < V < 46$ m/min**

Motor 2:

- Fabricante: **LENZE**
- Tipo: **GKS05 3M HBR 080N32 005^a**
- Potencia: **0.75 Kw**
- Escala de velocidades: **4 < V < 46 m/min**

Motor de traslación de corte:

- Fabricante: **SEW**
- Tipo: **SAF37 DT71D4**
- Potencia: **0.37kW**
- Índice de reducción: **1/9.02**

Aparte 4 - Sección 2 - Conclusiones de la Sección 2

En esta sección se caracteriza los principales sistemas y subsistemas de la línea de extrusión de mallas CORELCO. Es una línea robusta de fabricación francesa la cual posee excelentes acabados, calidad en su proceso de fabricación.

Entender el proceso de fabricación de mallas plásticas en la línea de extrusión de mallas CORELCO, permite identificar las funciones, falla funcionales y modos de falla de cada uno de los sistemas y subsistemas.

Sección 3 - Metodología confiabilidad

Aparte 1 - Sección 3 - Objetivo número 3

TRES - Metodología de confiabilidad - Utilizar la metodología de MCC, para jerarquizar los modos de falla relevantes de los componentes críticos de la línea CORELCO con el fin de poder implementar, las acciones de mantenimiento más asertivas, mediante programa informático evaluando las funciones, fallas, modos de falla y trabajos de mantenimiento, para determinar la criticidad de estas. Nivel tres Aplicar - Escala de Bloom & Gagné.

Aparte 2 - Sección 3 - Introducción Sección 3

En esta sección se va a usar la metodología de confiabilidad para establecer las funciones principales y secundarias, establecer las fallas funcionales reales y potenciales conocidas, modos de falla, evaluación de consecuencias y los efectos de cada modo de falla, con su falla y función, para al final medir el índice de riesgo de peligro HRI o RPN por medio de la metodología ALADON.

Aparte 3 - Sección 3 - Desarrollo de capítulo 3

En el desarrollo de esta sección se va a utilizar software informático para gestionar toda la información relacionada con los sistemas, subsistemas y componentes, funciones principales y secundarias, fallas, modos de falla, efectos de cada modo de falla, etcétera.

Para efectos prácticos del trabajo escrito solo se va a mostrar el análisis en el sistema TDO y un subsistema de este con el software informático IRCM⁴³.

Cabe aclarar que el procedimiento que se muestra a continuación en lo que se refiere a configuración de los sistemas, subsistemas con sus respectivas funciones primarias, secundarias, fallas funcionales, modos de fallas, riesgo y acciones de mantenimiento, aplica para todos los demás sistemas y subsistemas de la CORELCO.

La configuración que se citó en el párrafo anterior permite cerrar el ciclo del MCC.

Artículo 1 del Aparte 3 Sección 3 - Software informático IRCM

El programa del Sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Integrada (I RCM S) es una herramienta de software utilizada en los Programas de Comandos de Sistemas Navales Aéreos (NAVAIR). I RCM S permite a los analistas realizar y documentar los análisis de RCM para determinar la aplicabilidad de los intervalos de inspección preliminares para posibles tareas de PM. El I RCM S retiene los datos que se desarrollaron y utilizaron en el proceso de toma de decisiones de RCM para proporcionar un medio para establecer una pista de auditoría. Debe enfatizarse que I RCM S no puede realizar un análisis RCM. Requiere la participación de un analista que tenga conocimiento de la teoría RCM y sepa cómo usar el programa (NAVAIR, 1996).

⁴³ IRCM: Integrated Reliability Centered Maintenance System

Esta clase de herramientas son exitosamente utilizadas especialmente en todos los procesos industriales con beneficios demostrados. Los ahorros durante el análisis llegan ser de hasta un 90% sobre el uso de metodologías MCC clásicas (Mendoza, 2016)

Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 3 - Configuración del usuario inicial en el software informático IRCM

La configuración inicial se lleva a cabo en el Setup, donde es indispensable definir lo siguiente:

- First name (primer nombre)
- Last name (apellido)
- User name (nombre del usuario) Único para poder acceder al proyecto.
- Password (clave) Única para poder acceder al proyecto.
- Verify password (validar clave)
- Access level (nivel de acceso)

Los niveles de acceso son tres; View only, Analyst y Signoff. Para el proyecto se elige Signoff, donde es posible ver, editar y administrar.

Esa es la primera etapa para iniciar a crear el proyecto en el software informático IRCM.

A continuación, se presenta la configuración inicial del usuario en el software informático.

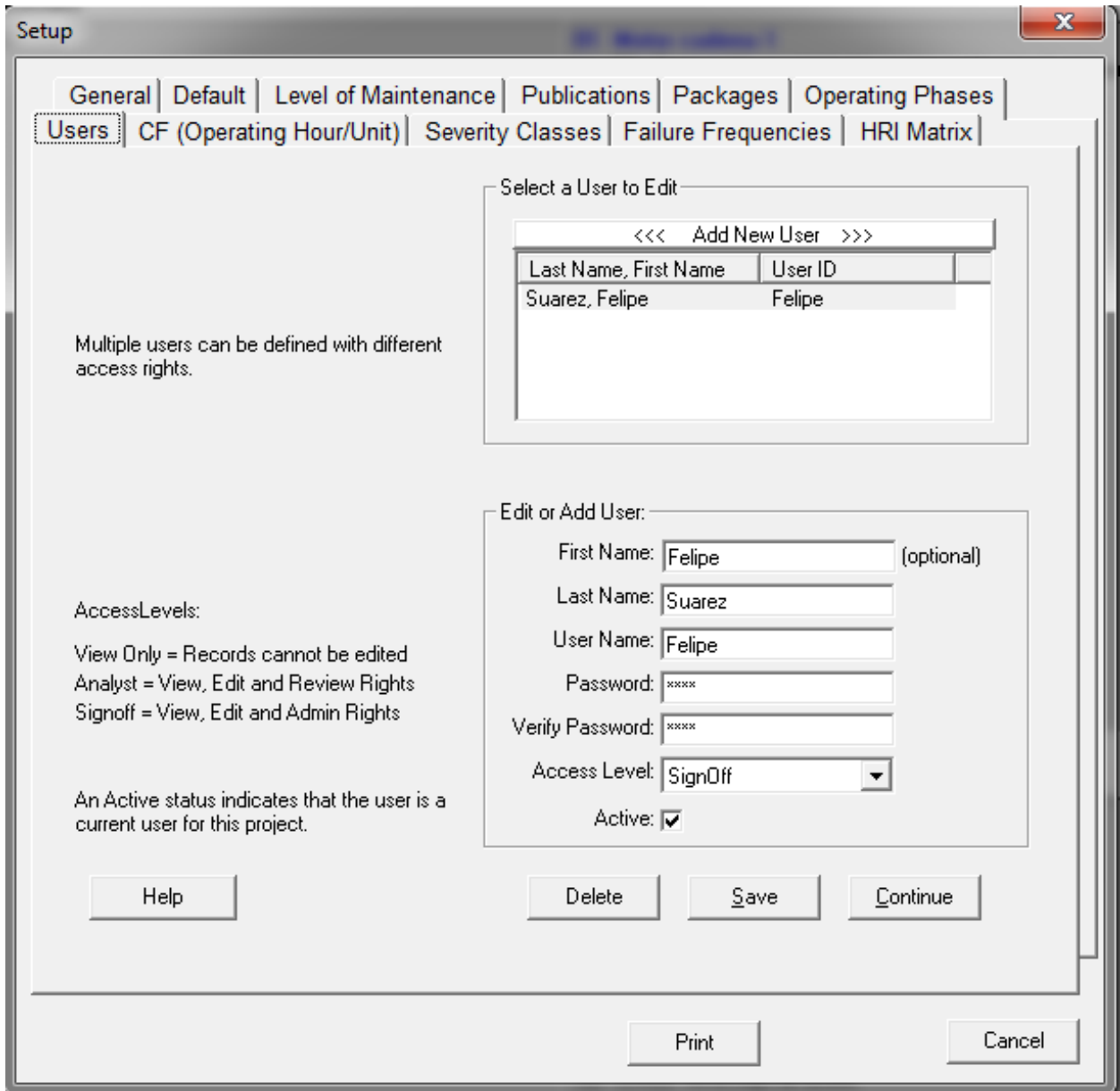


Figura 47 - Setup IRCM

(Suarez, Propia, 2018)

Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Definición del equipo, sistemas y subsistemas

El equipo y cada uno de los sistemas se configuran en el IRCM.

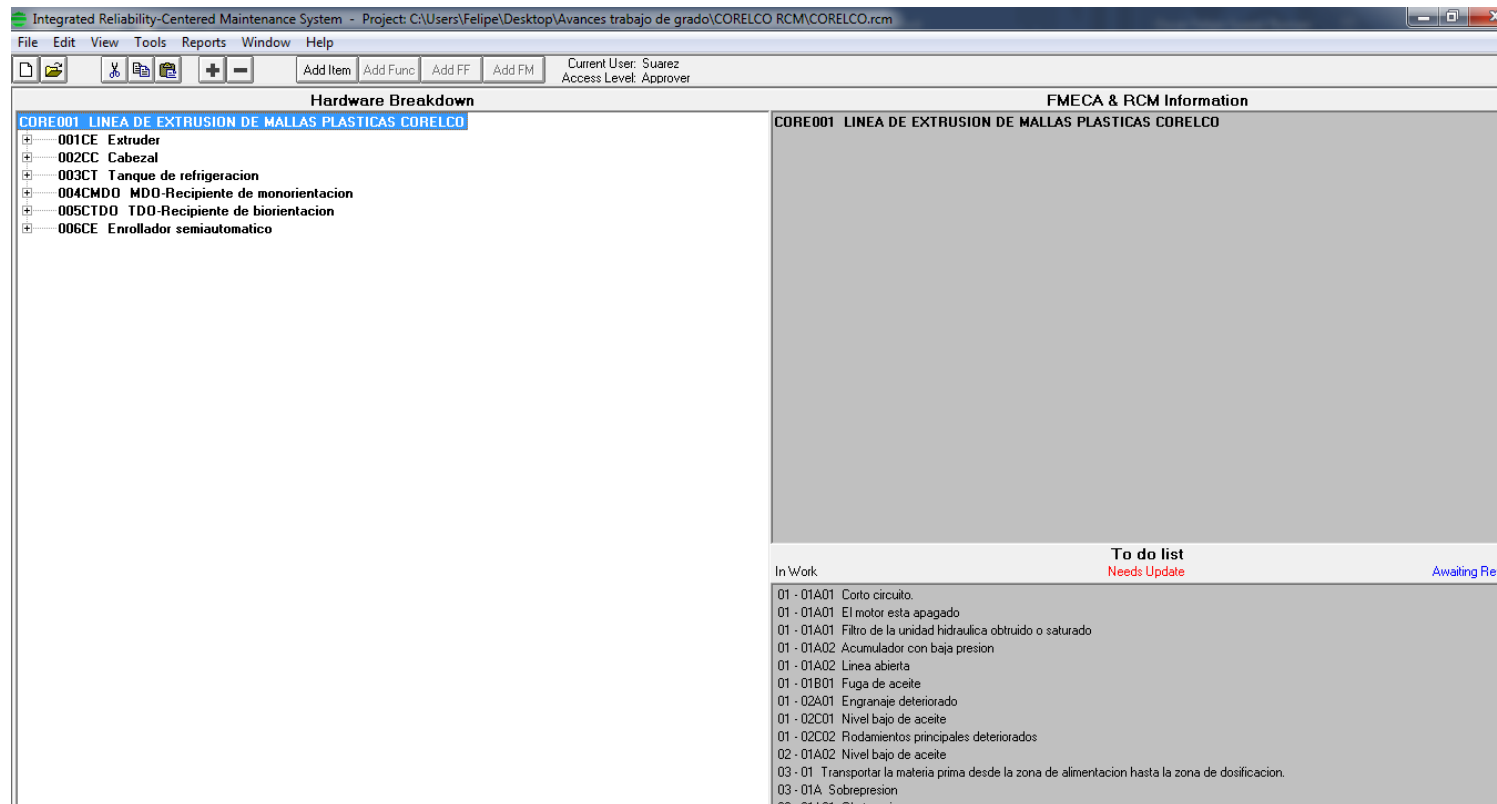


Figura 48 - CORELCO y sus sistemas en IRCM

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Se muestra cada uno de los sistemas de la extrusora Corelco y se hace hincapié en los subsistemas de la TDO.

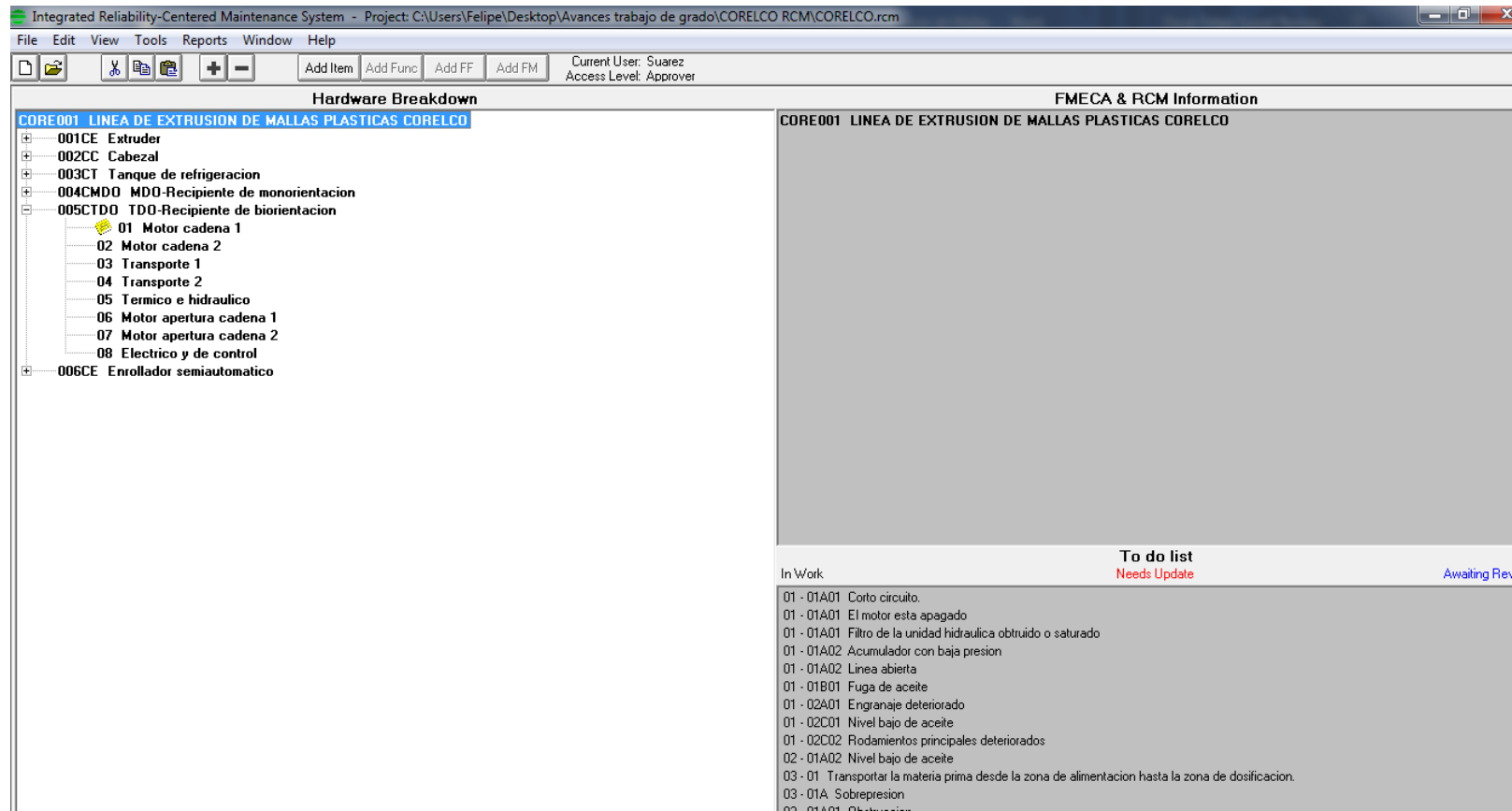


Figura 49 - TDO CORELCO y sus subsistemas

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Configuración de TDO

y su función primaria

Se configura la TDO CORELCO en el IRCM y se establece su función primaria.

The screenshot shows a software window titled "Item - 005CTDO" with the following fields and values:

- Item ID: 005CTDO
- Item Name: TDO-Recipiente de biorientacion
- Item Description: Estirar malla plastica en polipropileno o polietileno en direccion transversal a una velocidad minima de 4 M/MIN y una velocidad maxima de 43 M/MIN sin generar ningun reviente, con un volumen de agua de 1300 litros y
- Item ID Code: (empty)
- Number of Items in operation: 1
- Part Number: 1062
- Item Design Life: 79200
- Item Design Life Unit: A - Operating Hours
- Alternate Application: (empty)
- Status: Approved
- Effectivity: TDO
- Analyst: Suarez, Felipe
- Approved by: Suarez, Felipe
- Reviewed by: Suarez, Felipe

At the bottom right, there are four buttons: Save, Continue, Cancel, and Memo.

Figura 50 - Configuración de TDO y su función primaria

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Elemento 4 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Configuración

subsistema Motor 1 y su función

Se configura el subsistema motor cadena 1 con su función primaria.

The screenshot shows a software window titled "Item - 01" with the following configuration details:

- Item ID: 01
- Item Name: Motor cadena 1
- Item Description: Transmitir movimiento a la cadena 1 a una velocidad minima de 4 M/MIN y una velocidad maxima de 43 M/MIN sin generar ningun reviente en la cadena.
- Item ID Code: M1
- Number of Items in operation: 1
- Part Number: (empty)
- Item Design Life: 79200
- Item Design Life Unit: A - Operating Hours
- Alternate Application: (empty)
- Status: Approved
- Effectivity: TDO M1
- Analyst: Suarez, Felipe
- Approved by: Suarez, Felipe
- Reviewed by: Suarez, Felipe

Buttons at the bottom: Save, Continue, Cancel, Memo.

Figura 51- Configuración subsistema Motor cadena 1

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Elemento 5 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Fallas funcionales de Motor cadena 1

Después de definir la función del subsistema Motor 1, se procede a adicionar las fallas. El software llama las fallas como fallas funcionales. Las fallas funcionales se presentan en la imagen de color rojo.

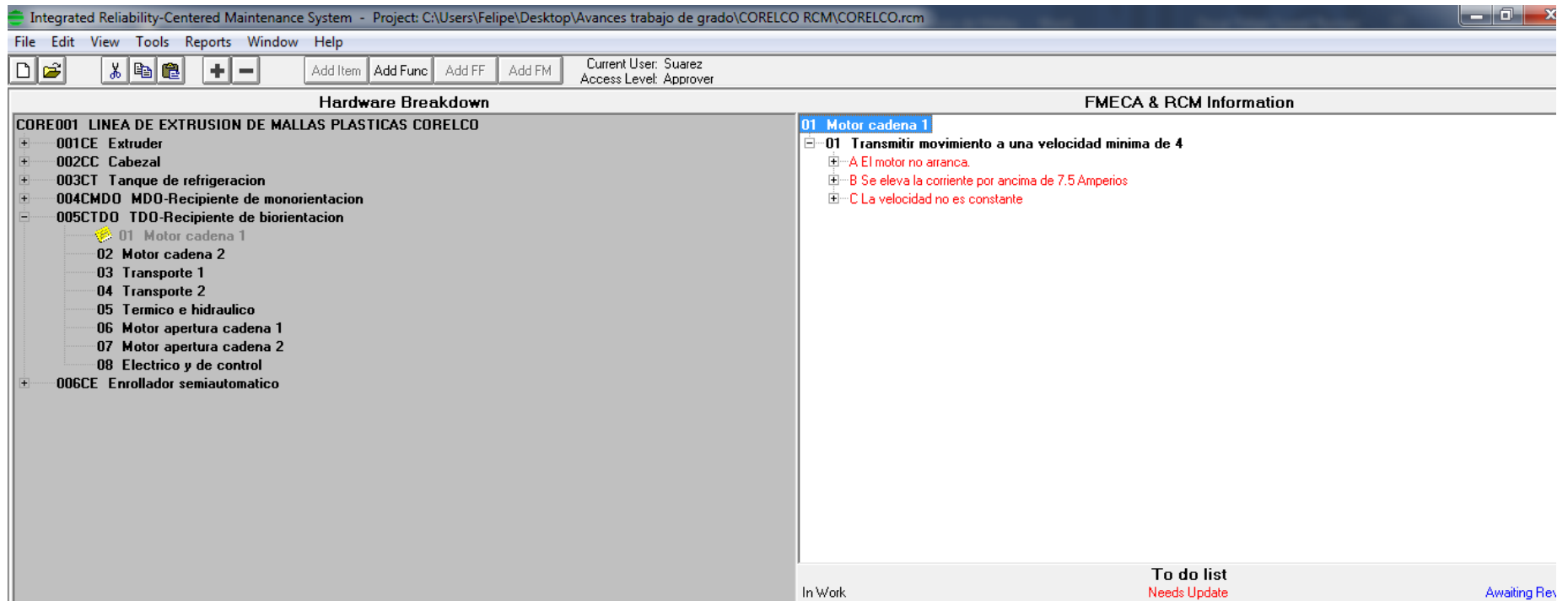


Figura 52 - Fallas funcionales Motor cadena

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Elemento 6 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Modos de falla de Motor cadena 1

Se presenta los modos de falla de color azul en la imagen, de la falla funcional **A. El motor está apagado.**

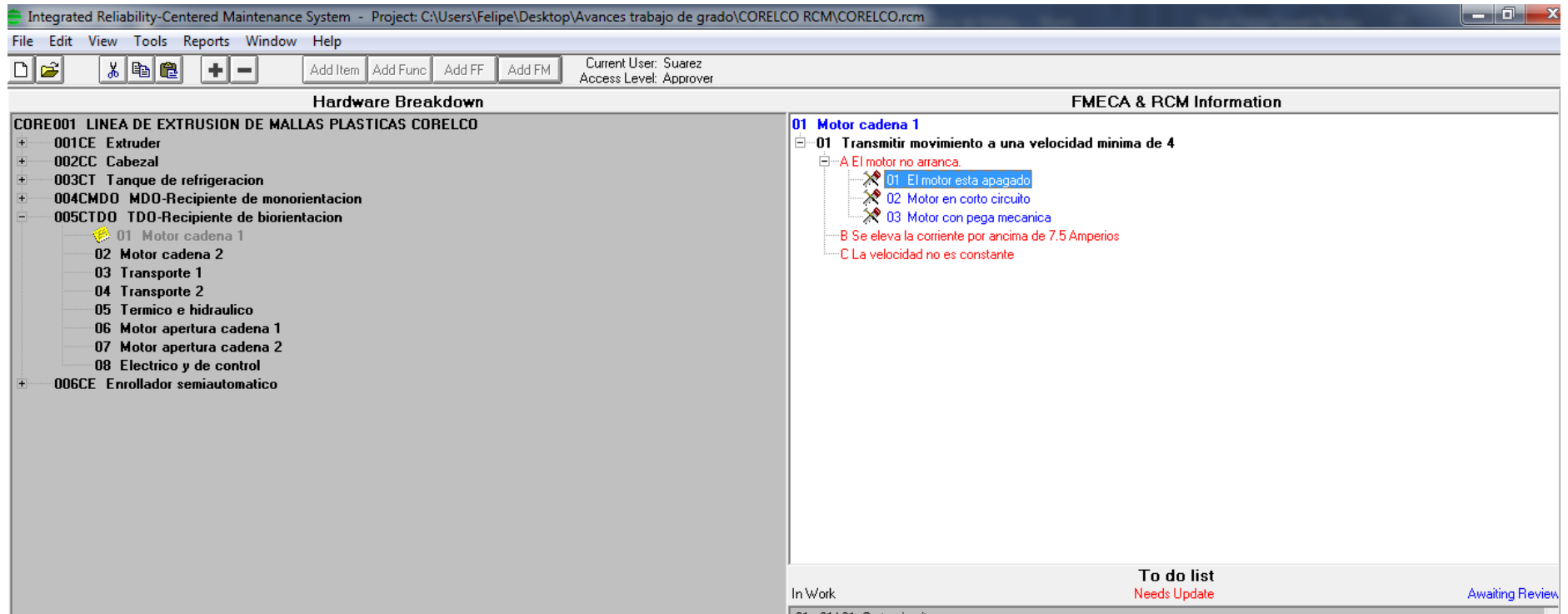


Figura 53 - Modos de fallas de falla funcional A

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Elemento 7 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Configuración modo de falla para el motor está apagado

Muy importante configurar los modos de fallas con el mayor detalle posible en información, por ejemplo, el efecto mínimo, alto, final y el método de detección del modo de falla.

Failure Mode - 01 - 01A01

Item ID: 01 Motor cadena 1 FMI: 01 - A - 01 Rev:

Failure Mode Description:
El motor está apagado

Local Effects:
Emergencias y seguridades activadas

Next Higher Effects:
Paros activados

End Effects:
Maquina no arranca

Detection Method:
Revisar la pantalla y pilotos activados

Severity Class: 4 - Minor Item ID code of failed item: M1

Effectivity: TDO M1 Part No of failed item: 1 Operating Phase: Phase I

MTBF: 100 A - Operating Hours

Failure Mode*	Failure Consequences	Service/Lube*	On-condition*
Hard-time*	Failure Finding	Age Exploration*	Other Action / No PM
Cost/Downtime Analysis	Package / Summary*	HRI Matrix	

Print Save Continue Cancel Memo

Figura 54 - Configuración modo de falla para el motor está apagado

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Elemento 8 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Acción de mantenimiento para el modo de falla

Se describe una acción para implementar de acuerdo al modo de falla. Si se determina que un mantenimiento preventivo no es aceptable, porque no reduciría las consecuencias de falla a ese nivel, entonces otras acciones deben tomarse para tratar los problemas.

Opciones como el rediseño del equipo, la introducción de restricciones operacionales, o cambios en procedimientos de mantenimiento, pueden ser aplicados para mitigar el problema.

The screenshot shows a software window titled "Failure Mode - 01 - 01A01". The window contains the following fields and sections:

- Item ID:** 01 Motor cadena 1
- FMI:** 01 - A - 01
- Rev:** []
- Other Action:**
 - Task ID:** 0003 #
 - Description:** Verificar que todas las seguridades,paros de emergencia y sensores esten en buenas condiciones, ajustados y calibrados.
 - Total Cost:** \$ 0.00
 - Total Elapsed Maintenance Time:** 0.25 (hours)
 - Task Accepted:** []
- No PM:**
 - MTBF:** 100
 - Average Repair Cost:** []
 - Total Elapsed Maintenance Time:** [] (hours)
- Life Cycle Costs:**
 - System Life Remaining:** 0
 - Stored Value:** 0
 - Calculated Value:** LCC after RCM/update: Missing Data ?
 - Analysis Cost:** []
 - LCC before RCM/update:** []
 - LCC Savings:** []
- Bottom Buttons:** Print, Save, Continue, Cancel, Memo
- Bottom Grid:**

Hard-time*	Failure Finding	Age Exploration*	Other Action / No PM
Cost/Downtime Analysis	Package / Summary*	HRI Matrix	
Failure Mode*	Failure Consequences	Service/Lube*	On-condition*

Figura 55 - Configuración de acción de mantenimiento

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Elemento 9 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Valoración del riesgo del modo de falla por método ALADON

Para iniciar con la valoración del índice de riesgo de peligro HRI por el método ALADON que es el que coincide con el software informático IRCM, se debe configurar en el Setup de la siguiente manera:

1. Definir la severidad que es cualitativa de modo personalizado o por defecto del software, el cual lo clasifica así:

Tabla 4 - Clasificación severidad IRCM

<i>Clasificación</i>	<i>Prioridad</i>
<i>1 - Catastrófico</i>	<i>I</i>
<i>2 - Crítico</i>	<i>II</i>
<i>3 - Mayor</i>	<i>III</i>
<i>4 - Menor</i>	<i>IV</i>

Fuente (Propia, 2018)

2.Estos son los criterios de acuerdo con la aplicación en la extrusora CORELCO:

Catastrófico: La muerte, incapacidad permanente, la destrucción del equipo / sistema, daños de más de \$ 300.000.000, el incumplimiento significativo de la regulación ambiental, Abajo tiempo > 2 días.

Critico: lesiones personales, daños a más de \$ 3.000.000, pero menos de \$ 300.000.000, el tiempo de inactividad de más de 24 horas, pero menos de dos días.

Mayor: Daños de más de \$ 300.000 pero menos de \$ 3.000.000, Abajo tiempo superior a 8 horas, pero menos de 24 horas.

Menor: Daños menores de \$ 300.000, Abajo en tiempo inferior a 8 horas.

3. Se configura la información de severidad por defecto en el Setup.

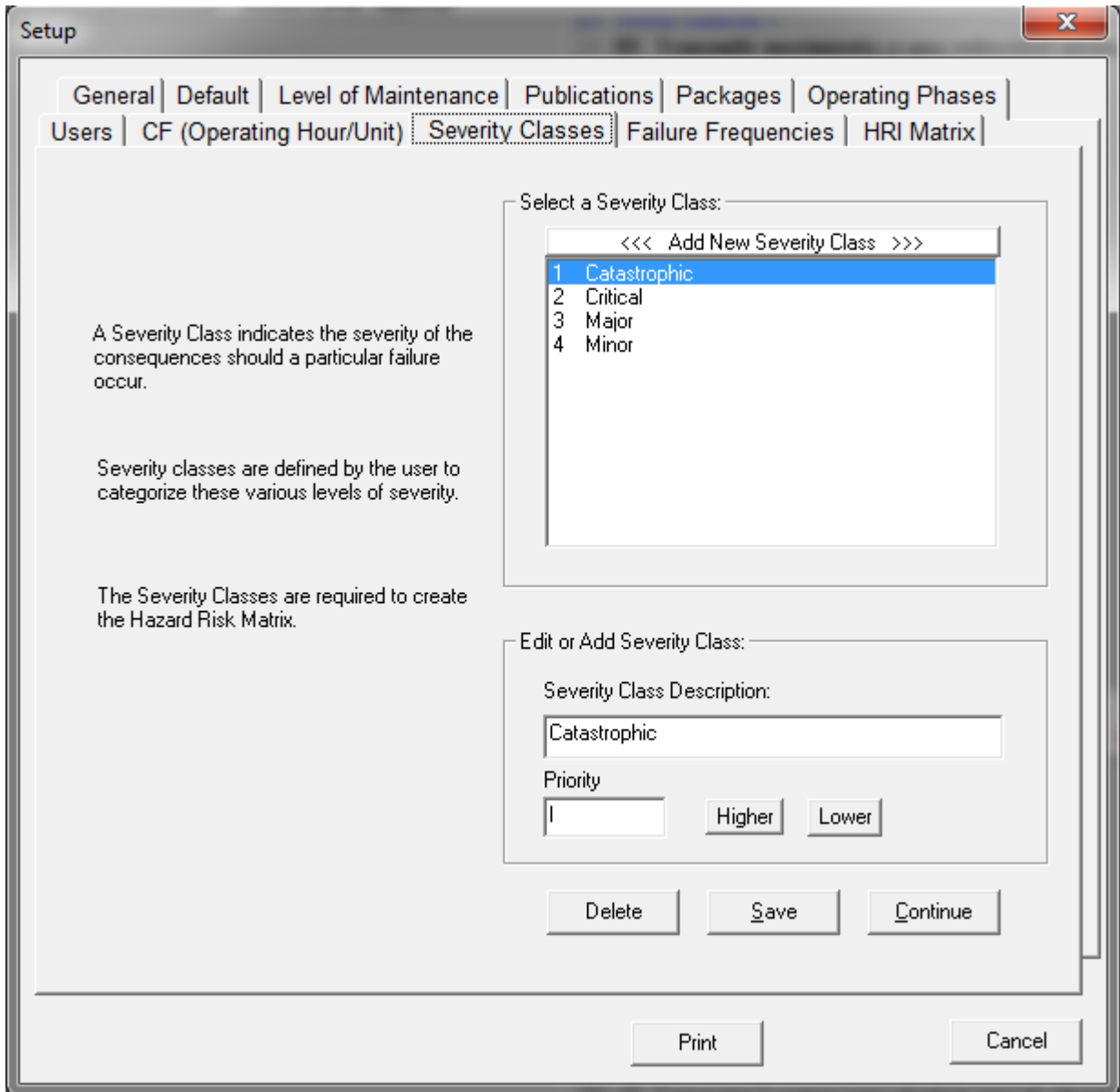


Figura 56 - Clasificación de severidad

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

4. Definir la probabilidad de ocurrencia que es cuantitativa de modo personalizado o elegir por defecto del software que se clasifica así:

Tabla 5 - Clasificación Probabilidad de ocurrencia en IRCM

<i>Clasificación</i>	<i>Rango Horas</i>
<i>1 - Frecuente</i>	<i>0 - 10</i>
<i>2 - Probable</i>	<i>10 - 100</i>
<i>3 - Ocasional</i>	<i>100 - 1000</i>
<i>4 - Remoto</i>	<i>1000 - 10000</i>
<i>5 - Improbable</i>	<i>10000 - 100000</i>

Fuente (Propia, 2018)

5. Se configura la información de probabilidad de ocurrencia por defecto en el Septup.

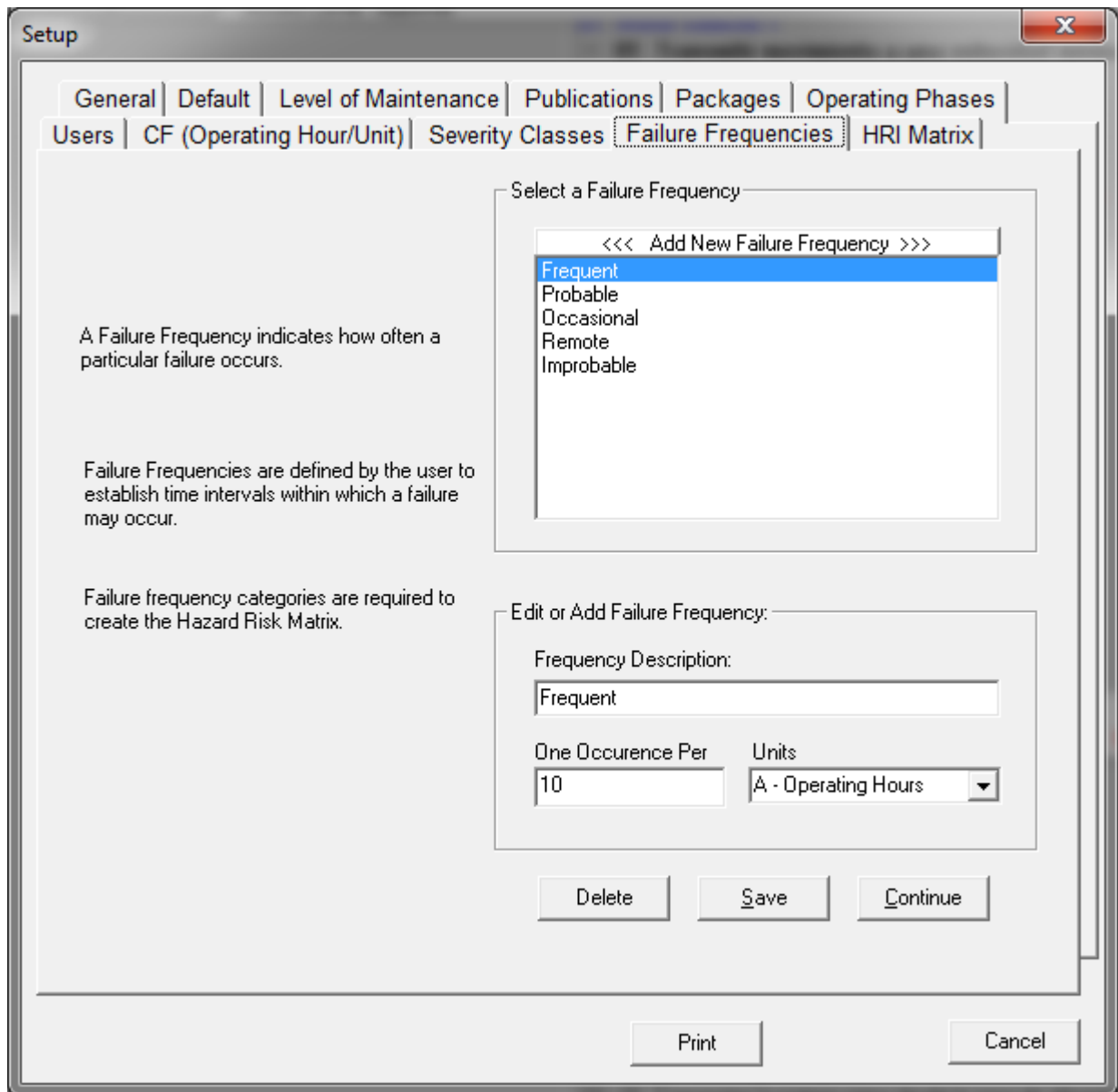


Figura 57 - Clasificación de probabilidad de ocurrencia en IRCM

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

5.El modo de falla después de analizarse y configurarse, valora el riesgo de severidad (eje de ordenadas) y probabilidad de ocurrencia (eje de abscisas), y así se obtiene el número de riesgo prioritario RPN que se define como el producto de la severidad por la ocurrencia.

El método ALADON que coincide con el método del software informático IRCM, entrega para la implementación el siguiente resultado:

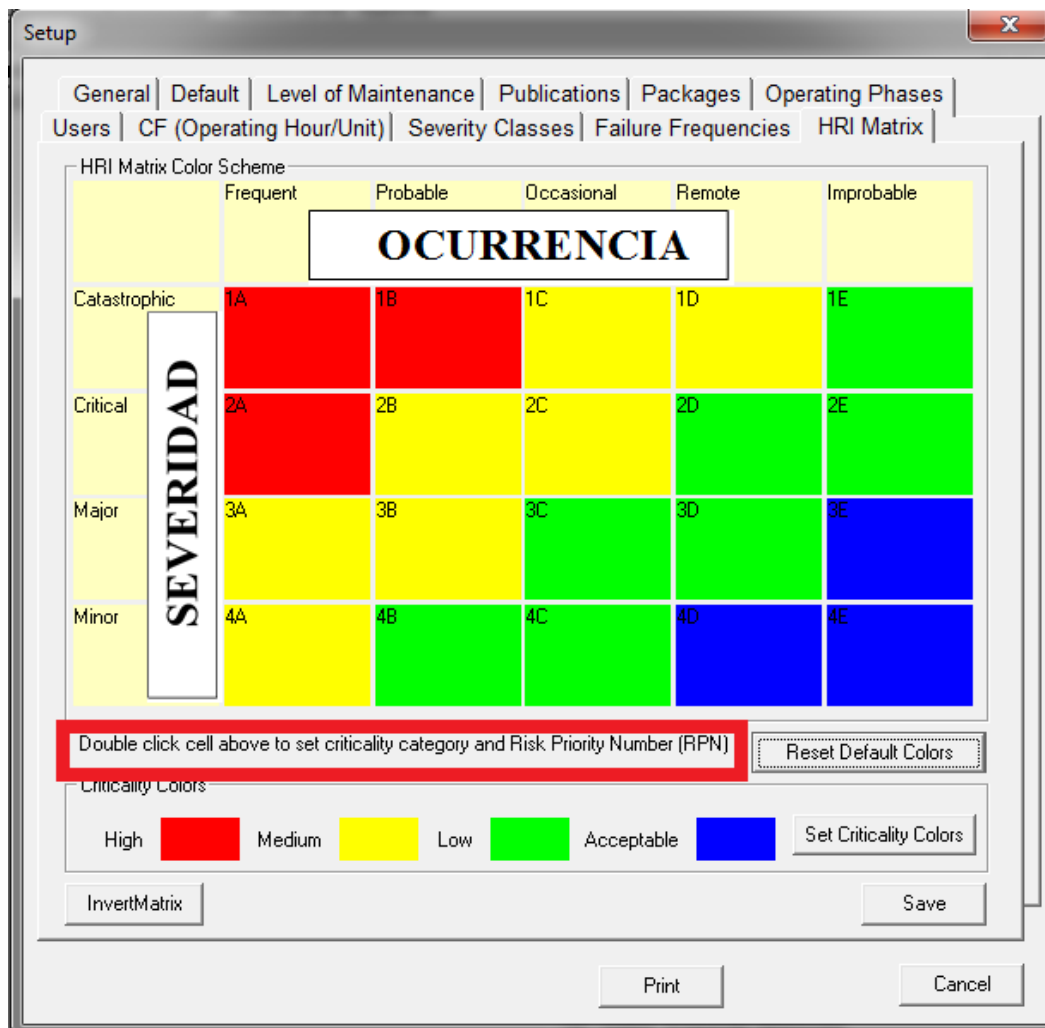


Figura 58 - Calculo del RPN por método ALADON en IRCM

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

La clasificación del modo de falla 01-01A01, El motor está apagado, y según la tabla de clasificación de criticidad, el RPN corresponde a un 4B, criticidad baja.

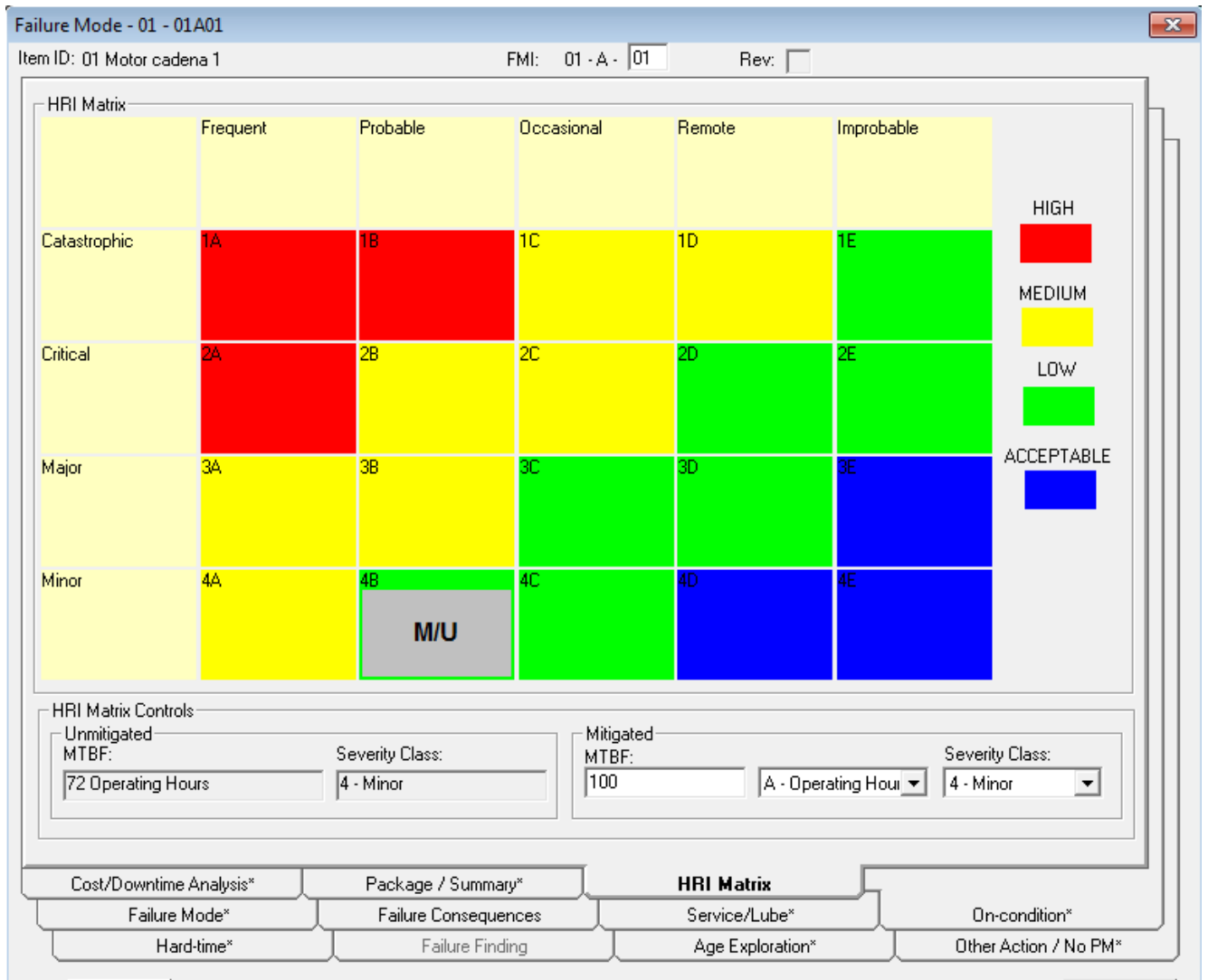


Figura 59 - Valoración del índice de riesgo de peligro HRI

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

El criterio de la criticidad se extrae de la siguiente tabla:

Casillas				Calificación Ubicación	
1	2	3	4	Código	Nivel de Criticidad
1A				1A	Muy Crítico
1B				1B	Muy Crítico
	2A			2A	Muy Crítico
1C				1C	Medianamente Crítico
1D				1D	Medianamente Crítico
	2B			2B	Medianamente Crítico
	2C			2C	Medianamente Crítico
		3A		3A	Medianamente Crítico
		3B		3B	Medianamente Crítico
			4A	4A	Medianamente Crítico
1E				1E	Criticidad Baja
	2D			2D	Criticidad Baja
	2E			2E	Criticidad Baja
		3C		3C	Criticidad Baja
		3D		3D	Criticidad Baja
			4B	4B	Criticidad Baja
			4C	4C	Criticidad Baja
			3E	3E	Aceptable en Criticidad
			4D	4D	Aceptable en Criticidad
			4E	4E	Aceptable en Criticidad

Figura 60 - Clasificación de riesgos con números y colores

Fuente (US-NAVAIR, 2016)

Elemento 10 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 - Acción de mantenimiento On condition

Inspección periódica o continua, diseñada para detectar una condición de fallo potencial antes de la falla funcional.

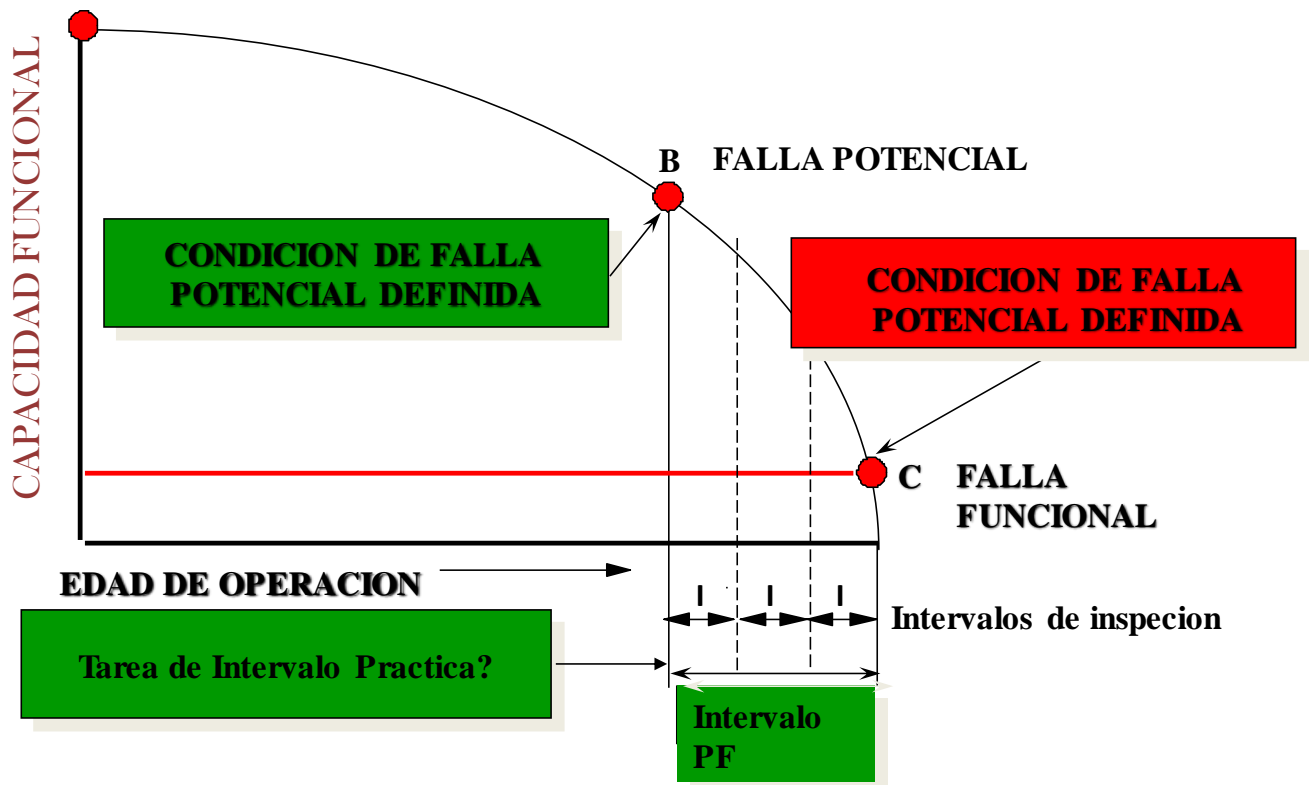


Figura 61 - Tarea basada en la condición

Fuente (Velez, 2014)

Con el concepto claro de On condition, se configura en el software informático IRCM el caso específico del modo de falla, A. El motor está apagado.

Artículo 2 del Aparte 3 de la sección 3 - Proceso para tomar decisiones en hoja decisiva ALADON

Para tomar decisiones dependiendo de la consecuencia de la falla se debe considerar el siguiente diagrama de flujo:

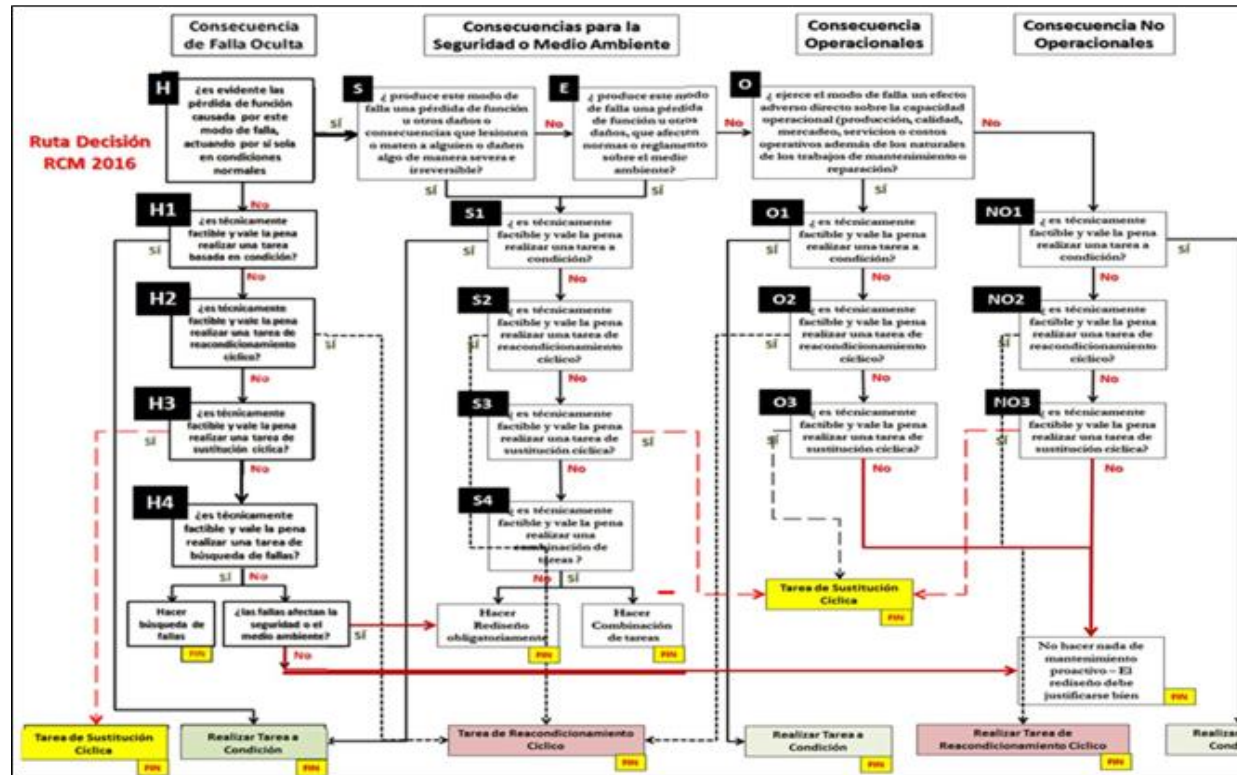


Figura 63 - Diagrama de flujo para toma de decisiones ALADON

Fuente (Mora, 2017)

Elemento 1 del Artículo 2 del Aparte 3 de la sección 3 - Configuración de la consecuencia de la falla

Para configurar la consecuencia de la falla, se considera la hoja decisional de ALADON.

Failure Mode - 01 - 01A01

Item ID: 01 Motor cadena 1 FMI: 01 - A - 01 Rev:

Information from 01 - 01

Function Description:
 Transmitir movimiento a una velocidad minima de 4 M/MIN y una velocidad maxima de 43 M/MIN.

1. Does loss of the function have an adverse effect on safety or environment?	No
2. Does loss of the function have an adverse effect on operations?	Yes
3. Does loss of the function have an adverse economical impact?	n/a
4. Is this function protected by an existing PM task?	n/a

Failure Mode
 El motor esta apagado

Evident Safety / Environmental
 Hidden Operational / Economic

Failure Mode* **Failure Consequences** Service/Lube* On-condition*
 Hard-time* Failure Finding Age Exploration* Other Action / No PM
 Cost/Downtime Analysis Package / Summary* HRI Matrix

Figura 64 - Configuración consecuencia de la falla para el modo de falla, el motor está apagado

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

De acuerdo con el análisis sobre la consecuencia de la falla del modo de falla, el motor está apagado, se considera los siguiente:

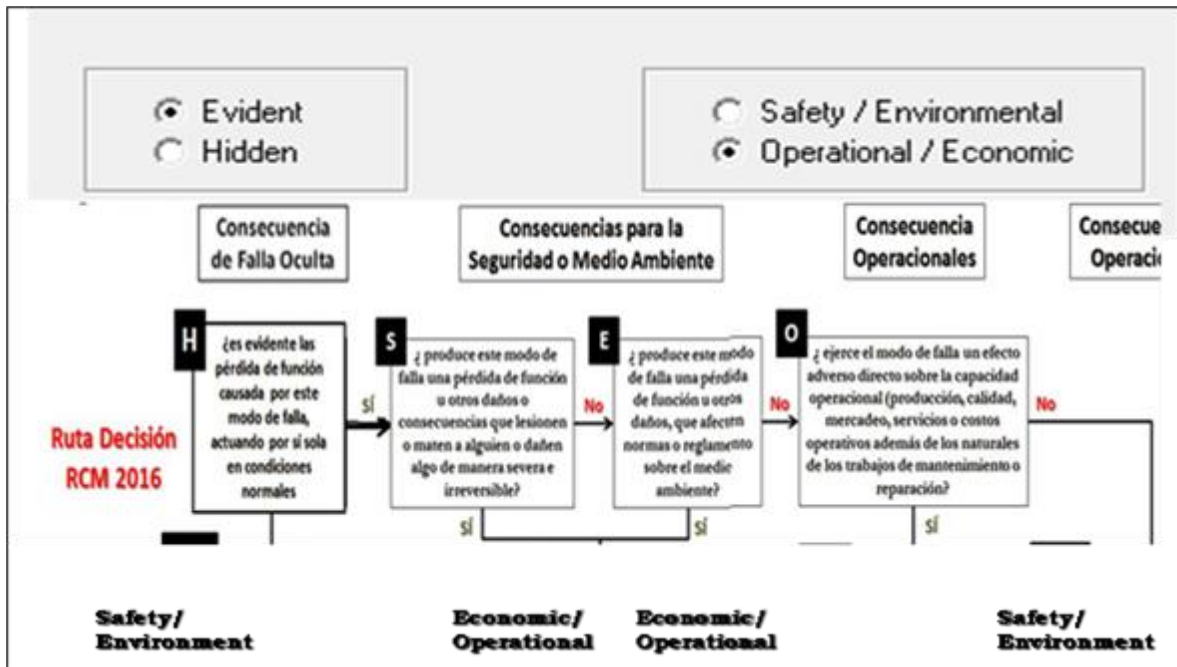


Figura 65 – Ruta para toma de decisión de consecuencia de la falla

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Para esto se emplea la hoja decisional de ALADON.

Artículo 3 del Aparte 3 de la sección 3 - Decisión via MCC

El siguiente esquema muestra la ruta que se sigue en el proyecto para tomar decisiones mediante el software informatico IRCM, se considera para la dinamica en la configuracion de cada uno de los pasos.

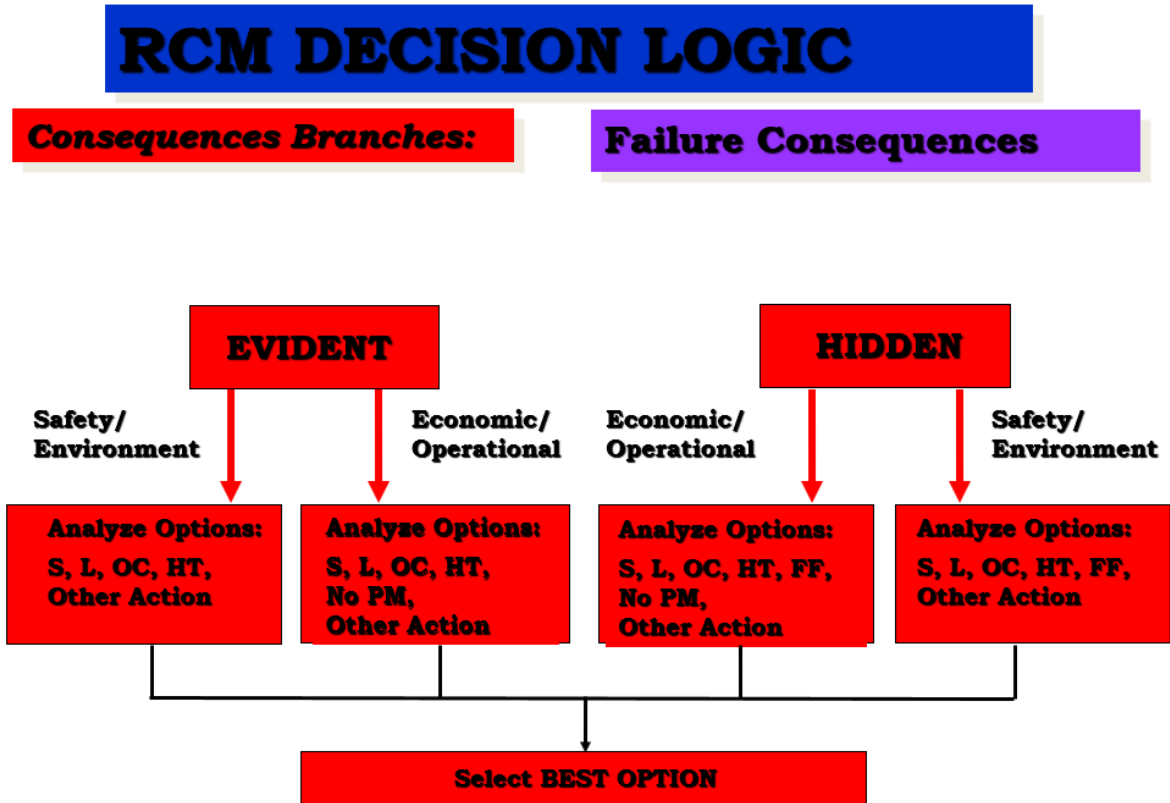


Figura 66 - Lógica de decisión con MCC

Fuente (Rooksberry, 2001)

Elemento 1 del Artículo 3 del Aparte 3 de la sección 3 - Acciones de mantenimiento vía decisión MCC

S (Servicio) - Reposición de materiales consumibles agotados durante las operaciones normales.

L (Tareas de lubricación) - Sustitución de un lubricante basado en el fabricante del predicho o vida medida del lubricante.

OC (Tarea por condición) Inspección periódica o continua, diseñado para detectar una condición de fallo potencial antes de la falla funcional.

HT (Tarea de reacondicionamiento cíclico) La eliminación programada de un artículo o una acción reparadora en algún límite a la edad especificada para evitar su fracaso funcional.

FF (Tarea buscar fallas) - Una de las tareas de mantenimiento preventivo realizado en un intervalo especificado para determinar si se ha producido una falla funcional oculto.

OTHER ACTION/ NO PM (No mantenimiento planeado) - Aplicación de actividades no programadas para salir de los modos de falla.

Aparte 4 - Sección 3 - Conclusiones de la Sección 3

El software informático IRCM es una herramienta practica y de fácil manejo que permite integrar el MCC para una gestión integral de mantenimiento ya que permite administrar las funciones, fallas, modos de falla y acciones de mantenimiento.

El software informático es practico al definir el índice de riesgo de peligro HRI, siguiendo el método ALADON, el cual de manera fácil permite conocer la criticidad de cada modo de falla y así enfocar los esfuerzos en la gestión del equipo.

Es fácil extraer el número de riesgo prioritario RPN de la matriz que presenta el software informático IRCM, aplicando el concepto teórico de severidad por ocurrencia.

Con la implementación de esta herramienta en la línea de extrusión de mallas Corelco, va a permitir reducir los paros no programados de producción y así potencializar su nivel productivo.

La implementación debe ser monitoreada y de ser necesario alimentada con más información que va a permitir enriquecer el conocimiento y la gestión de mantenimiento en el equipo.

Sección 4 - Táctica

Aparte 1 - Sección 4 - Objetivo número 4

CUATRO - Configurar un plan de mantenimiento que atienda los diferentes modos de falla, analizados por el método de confiabilidad en los elementos críticos. Nivel cuatro Aplicar - Escala de Bloom & Gagné.

Aparte 2 - Sección 4 - Introducción Sección 4

En esta sección se va a usar el esquema de reportes que posee el software informático IRCM, para configurar un plan de mantenimiento que atienda las necesidades específicas de los sistemas y subsistemas con los modos de falla que tienen mayor criticidad, para así priorizar las acciones de mantenimiento que requiera el equipo.

Aparte 3 - Sección 4 - Desarrollo de capítulo 4

Del software informático IRCM, se va a extraer desde la pestaña de reportes, diferentes alternativas como análisis FMECA, resúmenes de tareas que permiten configurar el plan de mantenimiento que atiende las necesidades puntuales del equipo en lo que se refiere a funciones, fallas funcionales, modos de falla y acciones a ejecutar.

Para efectos prácticos del trabajo escrito solo se va a mostrar los reportes del sistema TDO con el software informático IRCM.

Artículo 1 del Aparte 3 de la Sección 4 - Extracción de reportes para inferir el plan de mantenimiento del software informático IRCM

Del recuadro rojo relacionado en la imagen abajo, se va a extraer la información que va a permitir configurar el plan de mantenimiento.

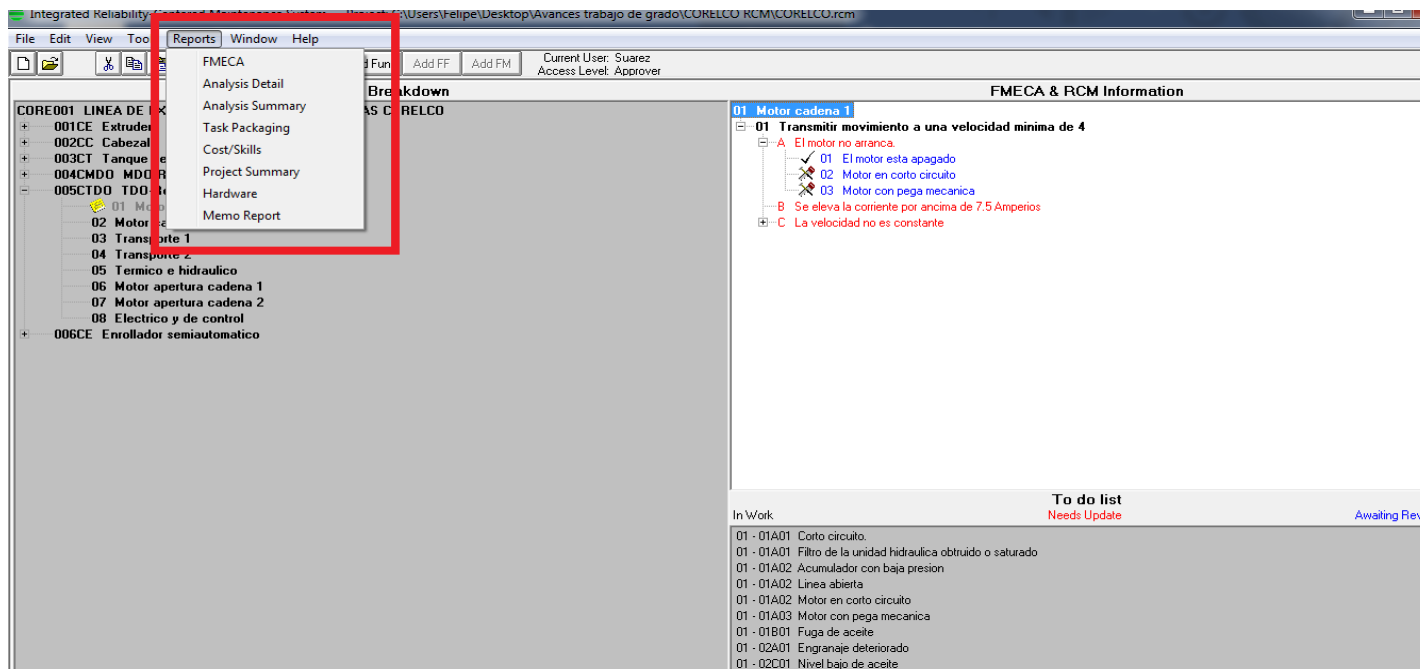


Figura 67 - Extracción de reportes del IRCM

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 de la Sección 4 - Extracción del resumen del análisis del reporte (Analysis Summary)

De la pestaña mostrada en el recuadro rojo, se extrae un resumen detallado del subsistema Motor cadena 1 con cada uno de sus modos de fallas y las acciones de mantenimiento a llevarse a cabo de acuerdo con el análisis previo.

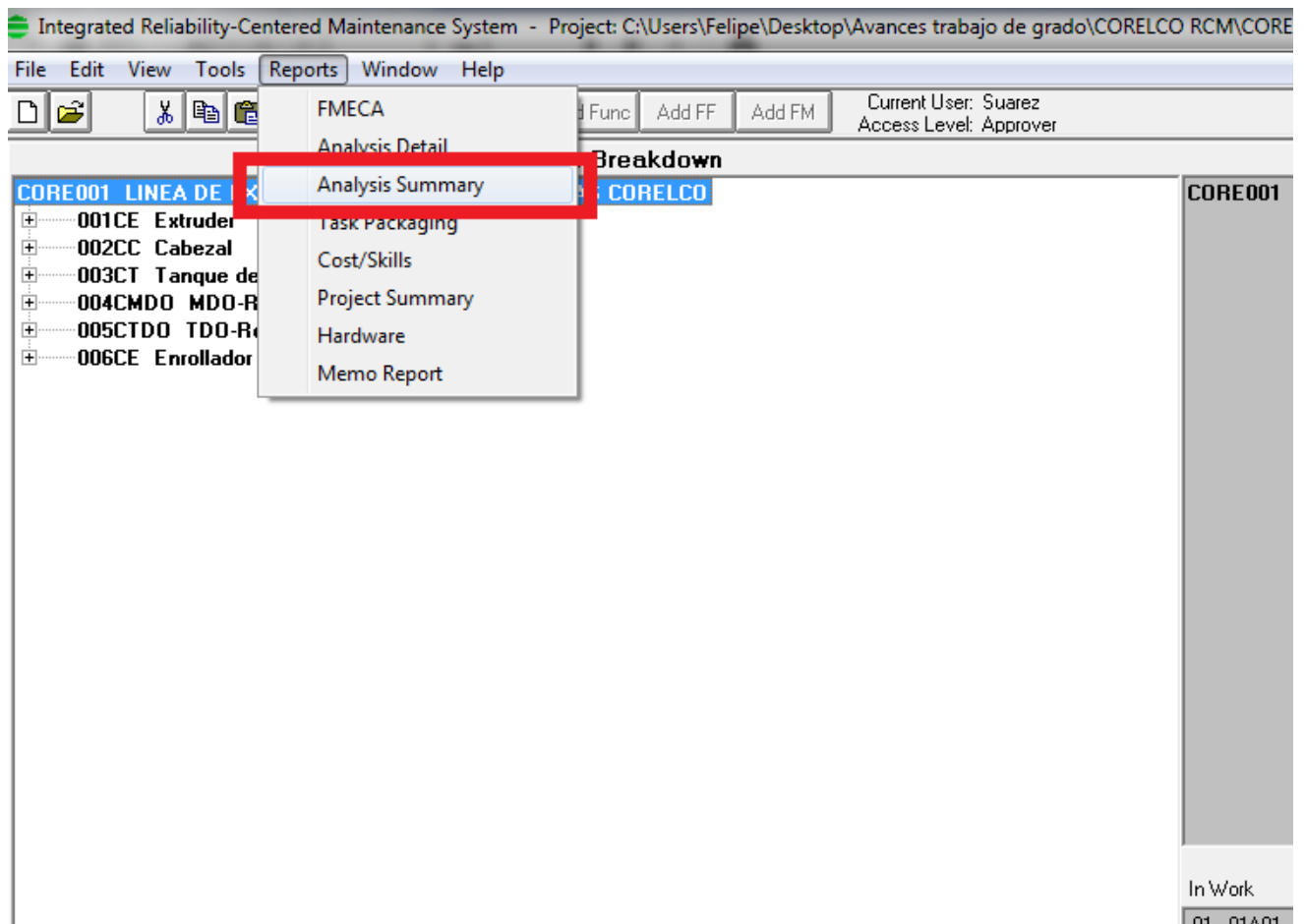


Figura 68 - Extracción de Resumen del Análisis

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Resumen completo de cada una de las acciones de mantenimiento programadas para el subsistema motor cadena 1 de acuerdo con todos los análisis hechos previamente:

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 18/05/2018

End Item: CORE001LINEA DE EXTRUSION DE MALLAS PLASTICAS CORELCO

Item ID: 01
Motor cadena 1

Failure Mode: 01A01
El motor esta apagado

MTBF: 72,00 Operating Hours **Safety:** **Hidden/Evident:** **Severity:** IV

End Effects:
Maquina no arranca

Failure Detection Method:
Revisar la pantalla y pilotos activados

Analysis Status: Approved

Approval Date:

Analyst: Felipe Suarez

Approved By: Felipe Suarez

Summary Recommendation:

Task Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
	0002	SL	Revisar el estado operativo de cada una de las paradas de emergencias y sensores de seguridad, que ninguno tenga desajuste o	1,00/A	/A	/A	/A
	0003	OC	Como rutina de inspeccion antes de arrancar la linea al iniciar semana o cuando haya cambio de referencia, realizar check list operativo por todo	2,00/A	/	/A	/A
		HT		/	/	/A	/A
		FF		/	/	/A	/A
	0003	OA	Verificar que todas las seguridades, paros de emergencia y sensores esten en buenas condiciones, ajustados y calibrados.			/A	/A
		NO PM	No Preventive Maintenance			/A	/A

Figura 69 - Resumen hoja 1

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 18/05/2018

End Item: CORE001LINEA DE EXTRUSION DE MALLAS PLASTICAS CORELCO

Item ID: 01
Motor cadena 1

Failure Mode: 01A02

Motor en corto circuito

MTBF: 72,00 Operating Hours **Safety:** **Hidden/Evident:** **Severity:** IV

End Effects:

Se inactiva toda la TDO y por lo tanto la linea de produccion

Failure Detection Method:

Chequear de manera periodica las variables electricas corriente y voltaje, y llevar registros para analizar cuando hayan incrementos, para asi tomar acciones antes del evento.

Analysis Status: In Process

Approval Date:

Analyst: Felipe Suarez

Approved By:

Summary Recommendation:

Task Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
	0004	SL	Usar desengrasante limpiador para garantizar superficies libres de contaminacion.	1,00/A	1,00/A	/A	/A
	0005	OC	Revisar de modo detallado el estado electrico-mecanico del motor, calidad de aislamiento, resistencia de bobinas, no pegas	1,00/A	/	/A	/A
		HT		/	/	/A	/A
		FF		/	/	/A	/A
	0006	OA	Revisar que los mecanismos asociados al motor de motor no tengan acumulacion de malla plastica enredada.			/A	/A
		NO PM	No Preventive Maintenance			/A	/

Figura 70 - Resumen hoja 2

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 18/05/2018

End Item: CORE001LINEA DE EXTRUSION DE MALLAS PLASTICAS CORELCO

Item ID: 01
Motor cadena 1

Failure Mode: 01A03
Motor con pega mecanica

MTBF: 72,00 Operating Hours **Safety:** **Hidden/Evident:** **Severity:** IV

End Effects:
proteccion termica disparada y posterior quemado de motor

Failure Detection Method:
Realizar inspeccion de las variables electricas del proceso como corriente del motor en operacion, llevar historico quincenal

Analysis Status: In Process **Approval Date:**

Analyst: Felipe Suarez **Approved By:**

Summary Recommendation:

Task Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
		SL		/	/	/A	/A
	0006	OC	Inspeccion visual y seguimiento de la variables electricas como consumo de corriente del motor.	1,00/A	/	/A	/A
		HT		/	/	/A	/A
		FF		/	/	/A	/A
	0007	OA	Cambio de rodamientos del motor			/A	/A
		NO				/A	/

Figura 71 - Resumen hoja 3

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 3 de la Sección 4 - Extracción del resumen del análisis FMECA

De la pestaña mostrada en el recuadro rojo, se extrae un resumen detallado del FMECA del Motor cadena 1.

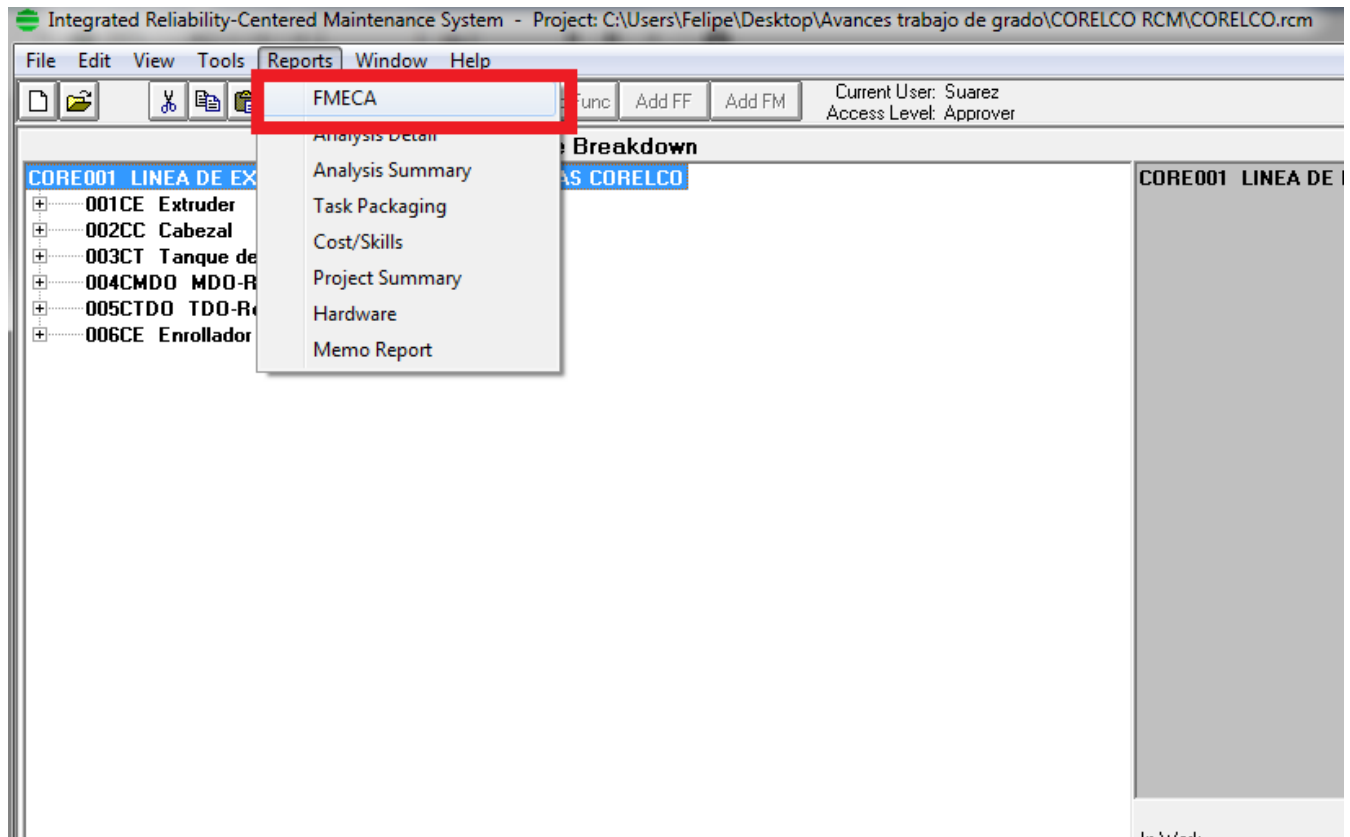


Figura 72 - FMECA Motor cadena 1

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Reporte FMECA del subsistema Motor cadena 1 con sus funciones, fallas, modos de falla, efectos de falla y acciones de Mantenimiento.

FMECA Report

Print Date: 18/05/2018

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNIT
		NO.	Descripción	LTR	Descripción	NO.	Descripción		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
01	Motor cadena 1	01	Transmisor movimiento a una velocidad mínima de 4 M/MIN y una velocidad máxima de 43 M/MIN.	A	El motor no arranca.	01	El motor está apagado	Phase I	Emergencias y seguridades activadas	Sistema TDO no arranca	Maquina no arranca	Revisar la pantalla y pilotos activados	4	72.00/A
01	Motor cadena 1	01	Transmisor movimiento a una velocidad mínima de 4 M/MIN y una velocidad máxima de 43 M/MIN.	A	El motor no arranca.	02	Motor en corto circuito	Phase I	Se puede quemar por completo el bobinado	Se quema el motor	Se inactiva toda la TDO y por lo tanto la línea de producción	Chequear de manera periódica las variables eléctricas corriente y voltaje, y llevar registros para analizar cuando hayan incrementos, para así tomar acciones antes del evento.	4	72.00/A
01	Motor cadena 1	01	Transmisor movimiento a una velocidad mínima de 4 M/MIN y una velocidad máxima de 43 M/MIN.	A	El motor no arranca.	03	Motor con pega mecánica	Phase I	El motor presenta ruido y sobrecalentamiento	rodamientos defectuosos	proteccion termica disparada y posterior quemado de motor	Realizar inspeccion de las variables electricas del proceso como corriente del motor en operacion, llevar historico quincenal	4	72.00/A

Figura 73 - FMECA Motor cadena 1

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 3 de la Sección 4 - Extracción del

Hardware Report

Este reporte permite visualizar todos los sistemas y subsistemas de la línea de extrusión de mallas CORELCO.

Hardware Report

IRCMS

Print Date 19/05/2018

*A * denotes hardware items which have some level of FMECA information*

CORE 001 LINEA DE EXTRUSION DE MALLAS PLASTICAS CORELCO

001CE Extruder

- *01 Motor principal
- *02 Caja reductora
- *03 Cilindro y tornillo
- *04 Zona de calefaccion
- *05 Termico
- *06 Filtracion

002CC Cabezal

- *01 Hidraulico
- *02 Termico
- *03 Formacion de malla

003CT Tanque de refrigeracion

- 01 Motoreductor
- 02 Bombeo
- *03 Guiado

004CMDO MDO-Recipiente de monorientacion

- 01 Motoreductor entrada
- 02 Motoreductor de extension
- 03 Motoreductor de salida
- 04 Termico
- 05 Neumatico
- 06 Electrico y de control

005CTDO TDO-Recipiente de biorientacion

- *01 Motor cadena 1
- 02 Motor cadena 2
- 03 Transporte 1
- 04 Transporte 2
- 05 Termico e hidraulico
- 06 Motor apertura cadena 1
- 07 Motor apertura cadena 2
- 08 Electrico y de control

006CE Enrollador semiautomatico

- 01 Motor enrollador superior
- 02 Motor enrollador inferior
- 03 Transporte de malla
- 04 Corte de malla

Figura 74 - Hardware Report de CORELCO

Fuente (Suarez, Propia, 2018)

Aparte 4 - Sección 4 - Conclusiones de la Sección 4

El software informático IRCM, permite generar reportes con información para una gestión integral de mantenimiento.

El tiempo que se invierte en el análisis del MCC y la configuración mediante el software informático da como resultado insumos de calidad, y se refleja en las acciones proactivas de mantenimiento en cada uno de los resúmenes.

La herramienta es dinámica, por lo tanto, se puede actualizar con el apoyo del equipo de trabajo con el fin de enriquecerla en información y conocimiento para todos.

El software informático, permite llevar una buena gestión del conocimiento de modo que este deje de ser individual y se convierta en colectivo.

El reporte del análisis FMECA permite compilar las funciones, fallas, modos de falla, efectos de falla y detección de la falla con acciones proactivas de mantenimiento, de las fallas conocidas y las potenciales.

Sección 5 - Conclusiones

De acuerdo con la literatura el MCC es una metodología que se usa en el ámbito internacional y por prestigiosas compañías.

Los resultados del MCC en aplicaciones reales son de un mediano a largo plazo, por lo tanto, se debe tener la disciplina para la continuidad en el tema y así lograr la confiabilidad en los equipos.

La línea de extrusión de mallas CORELCO muestra resultados desde su implementación, esto es evidente desde el momento en que se logra la convocatoria del personal de mantenimiento a nutrir el software informático.

A pesar de que la CORELCO lleva 10 años de servicio y se tiene una gran experiencia de conocimiento acumulada, con la implementación se logra compendiar en detalle toda la experiencia de todo ese tiempo, la cual va a permitir aumentar la confiabilidad y la gestión integral de mantenimiento.

Se logra identificar por medio del software informático IRCM, todos los sistemas y subsistemas de la línea de extrusión CORELCO, con cada una de sus funciones, fallas, modos de fallas, efectos de falla y detección de la falla.

Se logra calcular por medio de la metodología ALADON, y aplicando el concepto teórico de severidad por ocurrencia, el número de riesgo prioritario, el cual se extrae de la matriz que propone el IRCM, y así mismo la criticidad.

Por medio de los reportes que permite extraer el software informático IRCM, se infiere un plan practico con unas asertivas acciones proactivas de mantenimiento.

REFERENCIAS

Barlow, R. E. (1998). *Engineering Reliability*. USA: Editorial Board SIAM.

Barlow, R. E., & Proschan, F. (1996). *Mathematical Theory of Reliability*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Barret&Bloom@. (26 de Agosto de 2012). *Taxonomía de la Educación y delos Proyectos empresariales*, Simple. (Bloom Barret y Gagne) Recuperado el 26 de Agosto de 2012, de Barrett, Dr. Frederick C.: <http://www.bnm.me.gov.ar/cgi-bin/wxis.exe/opac/?IsisScript=opac/opac.xis&dbn=BINAM&src=link&tb=tem&query=P LANIFICACION+DE+LA+CLASE>

Bazovsky, I. (2004). *Reliability Theory and Practice*. USA: Edit. Dover Publications Incorporated.

Beltran, M., & Marcilla, A. (2012). *Tecnología de polimeros procesado y propiedades* (1 ed.). Alicante, España: Publicaciones univesridad del Alicante. Recuperado el 25 de 2 de 2018

Bertalanffy, L. v. (1994). *Teoría General de los Sistemas*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Fondo de Cultura Económica Limitada.

Blanchard, B. S. (1995). *Ingeniería Logística – Traducido de Logistics Engineering and Maintenance – ISDEFE*. Madrid, España: ISDEFE© - Monografías.com.

Blanchard, B. S., Verma, D., & Peterson, E. (1994). *Series Nuevas dimensiones en Ingeniería - Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management*. USA: Edit. Wiley Interscience - Wiley, John & Sons, Incorporated.

CiaEmpaques@. (9 de Febrero de 2016). *Compañía de Empaques S.A.*, 2016. Recuperado el 09 de 02 de 2018, de Ciaempaques.com.co: <http://ciaempaques.com.co/>

Compañía de Empaques S.A. (2016). *Compañía de Empaques*. Obtenido de <http://ciaempaques.com.co/>

Corelco. (2014). *Corelco extrusion lines*, 2014. (i. online, Editor) Recuperado el 25 de 2 de 2018, de <http://www.corelco.com/linea-de-extrusion-para-malla/>

Cuervo, J. (03 de 10 de 2017). Clase de Fundamentos de Investigación. Medellín, Antioquia, Colombia.

Dounce, E. -V. (1998). *La Productividad en el Mantenimiento Industrial* (Segunda ed.). Cd. de México, México: Compañía Editorial Continental, SA de CV.

EBEL@. (2004). *Biografías y Vidas*. Recuperado el 15 de 08 de 2017, de EBEL Enciclopedia Biográfica En Línea: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/k/kant.htm>

Ebeling, C. E. (2005). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. (I. Waveland Press, Ed.) New York City, New York, USA: McGraw-Hill Science - Engineering - Math.

El Colombiano. (30 de Agosto de 2013). *www.elcolombiano.com*. (J. F. Rojas, Editor)

Recuperado el 14 de Febrero de 2018, de

[http://www.elcolombiano.com/historico/la_compania_de_empaques_no_echo_en_saco_r
oto_sus_75_anos-HCec_257918](http://www.elcolombiano.com/historico/la_compania_de_empaques_no_echo_en_saco_r
oto_sus_75_anos-HCec_257918)

ESReDa. (2001). *ESReDa Handook on Maintenance management* (Primera de 2001 ed., Vol.

Uno). (R. &. ESReDa - European Safety, Ed.) Hevik - Norway, Norway: DET NORSKE
VERITAS - ESReDa.

ESReDa-Industrial. (1998). *Industrial Application of Strutural Realibility Theory* (ESReDa -

European Safety, reliability and Data ed., Vol. ESReDa Safety Series No. 2). (P. T.-C.-D.
DNV, Ed.) Hovik, Norway: ESReDa Working Group Report.

Forcadas, J. -F. (1983). Estadística aplicada a los Sistemas & Confiabilidad en los Sistemas. *1*(4),
41.

Halpern, S. (1978). *The Assurance Sciences: An Introduction to Quality Control and Reliability*.

New Jersey City, New Jersey, USA: Editorial Prentice Hall, Inc Professional Technical.

Harris, G. W. (1994). *Living with Murphy's law - Research-Technology Management* (Vols.

Vol.37,Iss.1). USA.

Ibarra, C. (26 de 10 de 2011). *Investigaciones Exploratoria, Descriptiva, Explicativa y*

Correlacional. Recuperado el 08 de 10 de 2017, de Investigaciones Seriadadas:

[http://metodologadelainvestigaciinsiis.blogspot.com.co/2011/10/tipos-de-investigacion-
exploratoria.html](http://metodologadelainvestigaciinsiis.blogspot.com.co/2011/10/tipos-de-investigacion-
exploratoria.html)

Jones, R. (1995). *Risk Based Management: A reliability – Centered Approach* - Gulf Publishing Company. Houston, Texas, USA: Gulf Professional Publishing.

Kececioglu, D. (1995). *Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering*. New Jersey City, New Jersey, USA: Editorial Prentice-Hall Professional Technical.

Kelly, A., & Harris, M. J. (1998). *Gestión del Mantenimiento Industrial*. (S. Gráficas Mar-Car, Ed.) Madrid, España: Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar – Traducido por Gerardo Álvarez Cuervo y equipo de trabajo.

Leemis, L. M. (1995). *Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods*. New Jersey City, New Jersey, USA: Editorial Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering.

Lewis, E. E. (1995). *Introduction to Reliability Engineering* (Segunda ed.). Editorial John Wiley & Sons, Inc.

Mariano. (15 de 3 de 2011). *Tecnología de plasticos*. (mrn.ojeda2009@gmail.com, Productor) Recuperado el 25 de 2 de 2018, de Extrusion de materiales plasticos:
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

Marks, J. (1997). *Combining TPM and reliability-focused maintenance (RCM), reliability centered maintenance, electric maintenance & repair* (Vol. Volumen 211). USA.

- Mendoza, D. A. (1 de 10 de 2016). *I-RCM, Una Nueva Perspectiva*. Obtenido de <http://www.wal-eng.com/>: <http://www.wal-eng.com/descargables/IRCM%20Una%20Nueva%20perspectiva%20V.2.0.pdf>
- Modarres, M. (1993). *What Every Engineer Should Know About Reliability and Risk Analysis*. New York City , New York, USA: Editorial Marcel Dekker.
- Mora. (2017). *Mantenimiento Industrial Efectivo* (2018 ed.). (Cimpro, Ed.) Medellin, Antioquia, Colombia: Coldi LTDA. Recuperado el Sabado de Febrero de 2018
- Mora, A. -G. (1999). *Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento en empresas usuarias o generadoras de tecnologías avanzadas*. Valencia, Comunidad Valenciana, España: Escuela de Ingenieros Industriales U.P.V.
- Mora, A. -G. (1999). *Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento en empresas usuarias o generadoras de tecnologías avanzadas*. Tesis de doctorado - Ph.D. en Ingeniería Industrial Cum Laude, Universidad Politécnica de Valencia, Organización de Empresas, Valencia.
- Mora, A. -G. (2007b). *Mantenimiento Estratégico Empresarial* (Primera ed.). Medellín, Antioquia, Colombia: Fondo Editorial FONEFIT.
- Mora, L. (2003). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. En Coldi (Ed.), *Mantenimiento centrado en la confiabilidad* (pág. 162). Medellin: Coldi. Recuperado el 28 de 2 de 2018

Moubray, J. M. (2004). *RCM Reliability Centered Maintenance - Industrial Press Inc* (Primera en castellano ed.). (G. a. Biddles Limited, Ed., & S. y.-A. Ellman, Trad.) Leicestershire, United Kingdom: Aladon Limited.

Moubray@. (2001). *John. About RCM*. Recuperado el 19 de Diciembre de 2008, de Aladon Inglaterra: <http://www.aladon.co.uk/02rcm.htm>

Nachlas, J. (1995). *Fiabilidad*. Madrid, Provincia de Madrid, España: ISDEFE.

Nakajima, S., Shirose, K., Goto, F., Miyoshi, A. y., & Alvarez, T. p. (1991). *Introducción al TPM Programa Para El Desarrollo*. (T. p. Alvarez, Trad.) Madrid , Provincia de Madrid , España: Editorial Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar.

NAVAIR. (1996). En *Directrices para la Aviacion Naval en el Proceso del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad*.

Navarro, L. -E., Pastor, C., & Mugaburu, L. (1997). *Gestión integral de mantenimiento*. (M. B. Editores, Ed.) Barcelona, Comunidad de Catalunya, España: Marcombo Boixareu Editores.

Novak, J. (23 de 09 de 2017). *Mapas Conceptuales*. Recuperado el 23 de 09 de 2017, de <http://mapaconceptual.net/conectores-para-mapas-conceptuales>

O'Connor, P. D. (2002). *Practical Reliability Engineering* (Cuarta ed.). Stevenage, United Kigdom: Wiley - Jhon Wiley & Son.

- OREDA. (1997). *Offshore Reliability Data Handbook*. Obtenido de http://www.dnv.com/publications/oilgas_news/articles/newoffshorereliabilitydatahandbookokoreda.asp - 3rd. Det Norske Veritas – Sintef Industrial Management
- OREDA. (2002). OREDA 2002 - Offshore Reliability Data. En OREDA, & OREDA (Ed.), *OREDA Offshore Reliability Data* (Fourth - 2002 ed., pág. 835). Trondheim, Norway: OREDA & DNV Veritas.
- Propia. (14 de 02 de 2018). Elaboración propia. *Secuencia lógica de Objetivos, hecha con base en escala de Bloom & Gagñé*. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Ramakumar, R. (1996). *Engineering Reliability. Fundamentals and Applications*. New Jersey City, New Jersey, USA: Editorial Prentice-Hall Professional Technical.
- Rengifo, E. (2018). Gestion de activos bajo la ISO 55001. *Gestion de activos bajo la ISO 55001*. Medellin. Recuperado el 24 de 2 de 2018
- Rey, S. F. (1996). *Hacia la excelencia en Mantenimiento*. (S. Tgp Hoshin, Ed.) Madrid, Comunidad de Madrid, España: Tgp Hoshin, S.L.
- Rooksberry, C. C. (19 de 01 de 2001). Planning and Preparation. Medellin, Antioquia, Colombia. Recuperado el 17 de 05 de 2018
- Sotskov, B. (1972). *Fundamentos de la Teoría del Cálculo de la Fiabilidad de Elementos y Dispositivos de Automatización y Técnica del Cálculo*. Moscú, Rusia: Editorial MIR.

Stamatis, D. H. (1995). *Failure Mode and Effect Analysis - FMEA from Theory to Execution*. (I. BookCrafters, Ed.) Wisconsin, Milwaukee, USA: ASQC Quality Press.

Suarez, F. (05 de 03 de 2018). Propia. *Volumen de control linea de extrusion de mallas corelco*. Medellin, Antioquia, Colombia.

Suarez, F. (06 de 03 de 2018). Propia. *Extruder corelco*. Itagui, Antioquia, Colombia.

U.S. Army. (1972). *AMCP 706-134 Maintainability Guide for Design*. Washington: U. S. Government Printing Office.

Uexcüll, J. V. (1920). *Umwelt und Innenwelt der tiere* (Segunda Edición ed.). Berlín – Alemania : Referenciado por Bertalanffy,1994.

US-NAVAIR. (2016). *Manual de Usuario IRCMS 6.3*.

Vallejo, J. J., & Mora Gutiérrez, L. A. (2004). *Desarrollo, validación, contraste y pronóstico del cálculo CMD - Trabajo de fin de carrera de Ingeniería Mecánica*. Medellín , Antioquia, Colombia: Universidad EAFIT.

Velez, J. (31 de 03 de 2014). Diplomatura en tecnicas modernas de mantenimiento. Medellin, Antioquia, Colombia. Recuperado el 17 de 05 de 2018

Wakefield, C. (1985). *Quality assurance in maintenance - En: The South African Mechanical Engineer*. (Vol. Vol 35). USA.

Whorf, B. L. (1952). *Collected Papers on Metalinguistic – Foreign Service Institute – Department of State*. Washington – USA : Referenciado por Bertalanffy,1994.

Whorf, B. L. (1953). *Language, Thought and reality: selected writings of B.L. Whorf – John Carroll, Ed. John Wiley & Sons*. Nueva York – USA: Referenciado por Bertalanffy,1994.

Wikipedia . (1 de 1 de 2018). *Wikipedia la enciclopedia libre*. (F. W. Inc, Productor) Recuperado el 25 de 2 de 2018, de Extrusion de polimero:
https://es.wikipedia.org/wiki/Extrusi%C3%B3n_de_pol%C3%ADmero

Zapata, S. A. (17 de 09 de 2017). *Verbo Bloom & Gagné*, Simple. Recuperado el 17 de 09 de 2017, de <https://es.scribd.com/doc/59828818/Verbo-Bloom-Gagne>