

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC) PARA LA
EXTRUSORA DE PLÀSTICO JHS 45 DE LA EMPRESA ARNESES Y GOMAS
S.A.**

HUGO ALBERTO FAJARDO GUTIERREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2017

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC) PARA LA
EXTRUSORA DE PLÀSTICO JHS 45 DE LA EMPRESA ARNESES Y GOMAS
S.A.**

HUGO ALBERTO FAJARDO GUTIERREZ

Trabajo de Monografía, para optar al título de
Especialista en Gerencia en Mantenimiento

Director

Profesor Daniel Ortiz Plata
Gerente en Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2018

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1 ENTORNO - DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	13
1.2 OBJETIVO GENERAL	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	15
2. MARCO TEÓRICO	16
3. APLICACIÓN DE METODOLOGÍA MCC A LA MÁQUINA JHS 45	31
3.1 CAMINOS DE INTERACCIÓN	31
3.1.1 JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS	31
3.1.2 VOLUMEN DE CONTROL / SISTEMA	32
3.1.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	38
3.1.4 CONDICIONES OPERACIONALES	40
3.1.5 CONDICIONES AMBIENTALES	41
3.1.6 FRONTERAS	41
3.1.7 INTERFACES	42
3.2 FUNCIONES	42
3.3 FALLAS FUNCIONALES	46
3.4 MODOS DE FALLA	47
3.5 ANÁLISIS DE FALLA FMECA	52
3.6 LISTADO DE TAREAS	55
3.7 ACTUALIZACIÓN DEL PLAN	58
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
5. CONCLUSIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	67

TABLA DE IMAGENES

	Pág.
Figura 1. Estructura organizacional ARNESES & GOMAS SA	14
Figura 2. Esquema del proceso básico de extrusión	20
Figura 3. Partes principales de una extrusora de un solo tornillo	22
Figura 4. Zonas del tornillo de extrusión.	23
Figura 5. Parámetros de diseño del tornillo	24
Figura 6. Esquema del tornillo	24
Figura 7. Resistencias camisa	25
Figura 8. Tolva de alimentación	25
Figura 9. Filtro - Plato Rompedor - Conjunto 1	26
Figura 10. Boquilla - Pinocho - Pirinola	27
Figura 11. Conjunto 2	27
Figura 12. Vista frontal del montaje	27
Figura 13. Cabezote durante el proceso de extrusión	28
Figura 14. Diagrama de jerarquización de equipos	32
Figura 15 . Línea de extrusión, con equipos auxiliares	33
Figura 16. Esquema de salidas y entradas	36
Figura 17. Trasmisión de poleas de 6 bandas en V	37
Figura 18. Reductor de engranes	38
Figura 19. Trasmisión de poleas de 6 bandas en V	38
Figura 20. Ventilador de refrigeración	39
Figura 21. Motor eléctrico	39
Figura 22. Variador de velocidad	39
Figura 23. Resistencia eléctrica	40
Figura 24. Control de temperatura	40
Figura 25. Extrusora JHS 45	41
Figura 26. Resistencia cabezote	44
Figura 27. Tablero de mando	44
Figura 28. Ventilador de refrigeración	45
Figura 29. Productos de diferentes referencias manufacturados en la máquina JHS 45 de Arneses y Gomas SA	46
Figura 30. Diagrama de funciones, modos de falla y tareas	59

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Gráfica 1. Fallas ocultas	60
Gráfica 2. Tareas seleccionadas internas - externas	61
Gráfica 3. Tipos y frecuencia de labores del plan de mantenimiento	62
Gráfica 4. Asignación de tareas	62
Gráfica 5. Criticidad en factor ambiental	63
Gráfica 6. Criticidad en factor Humano	63
Gráfica 7. Criticidad en factor Económico	63
Gráfica 8. Criticidad en factor Imagen	64

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. CUADRO DE RESUMEN PARA LA METODOLOGÍA (MCC) PARA LA MÁQUINA EXTRUSORA JHS 45

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este trabajo y la culminación de esta experiencia, no sería justo, recordar y agradecer a las personas involucradas para que se llevara a cabo. En primera medida agradecer a mis padres, quienes han sido un apoyo incondicional y gran ejemplo en mi vida, a Catalina, quien con su compañía y esfuerzo, me ha facilitado muchas cosas, a todos los profesores de la especialización, quienes me dieron las herramientas para lograr un buen trabajo, en especial al profesor Daniel Ortiz Plata, quien fue una guía importante en este trabajo. En último, a la empresa A & G S.A. quienes me permitieron disponer de las instalaciones, información y la máquina para realizar este trabajo.

RESUMEN

TÍTULO:

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC) PARA LA EXTRUSORA DE PLÁSTICO JHS 45 DE LA EMPRESA ARNESES Y GOMAS S.A.*

AUTOR:

HUGO ALBERTO FAJARDO GUTIERREZ

PALABRAS CLAVES: Confiabilidad, Modo de falla, criticidad, productividad, eficiencia, extrusión, polímeros, termoplásticos, monómeros, boquilla, cabezote, punto de fusión, fluidez, termoplástico, termoestable.

DESCRIPCIÓN:

En este trabajo se implementa la metodología del MCC (Mantenimiento centrado en confiabilidad), implementando la metodología bajo la norma SAE JA1011 en un activo de la empresa en donde actualmente laboro, Arnese y Gomas S.A. empresa dedicada a la manufactura de arneses y cables de alta para la industria de las autopartes por más de 40 años en el país para casi todas las marcas de vehículos distribuidos a nivel nacional, con el propósito de poner en práctica algunas de las metodologías, se escogió una extrusora de plástico, de tornillo sencillo que lleva en la empresa más de 15 años trabajando, la cual no cuenta con ningún plan de mantenimiento actualmente.

Como gerente en mantenimiento es nuestra labor implementar y desarrollar técnicas que nos permitan ser más eficientes y productivos en nuestros procesos de manufactura y el día a día, para ejercer una verdadera labor de mantenimiento en nuestra vida práctica.

Este trabajo tiene como fin mostrar los beneficios de un mantenimiento planeado, creando una cultura de mantenimiento elaborado y no un mantenimiento correctivo, que es el que se maneja aún en muchas de las empresas del país, pues es de esta manera que podemos prevenir y anticipar situaciones y paradas no programadas que son determinantes a la hora de un cualquier proceso.

* Trabajo de Grado

Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director del Proyecto Ing. Daniel Ortiz Plata, Codirector Ing. Isnardo González Jaimes

ABSTRACT

TITTLE:

REABILITY CENTRED MAINTENANCE (RCM) PLAIN FOR EXTRUSIÓN PLÁSTIC MACHINE JHS 45 OF ARNESES & GOMAS S.A.*

AUTHOR:

HUGO ALBERTO FAJARDO GUTIERREZ

KEY WORDS: Reliability, Failure mode, criticality, productivity, efficiency, extrusion, polymers, thermoplastics, monomers, nozzle, nozzle, melting point, fluidity, thermoplastic, thermoset.

DESCRIPTION:

In this work, the methodology of the MCC (Reability centred maintenance), implementing the methodology in the SAE JA1011 standard, is implemented in an asset of the company, where I currently work, Arneses y Gomas S.A. It is a national company dedicated to the manufacture of harnesses and high cables for the automotive industry for more than 40 years in the country for almost all marcs of vehicles distributed nationwide, original and reply parts, with the purpose of putting into practice some of the methodologies, He chose a simple screw plastic extruder that he has been working in the company for more than 15 years, which does not have any maintenance plan at present.

As maintenance manager it is our duty to implement and develop techniques that allow us to be more efficient and productive in our manufacturing processes and can to do a real maintenance work in our practical life.

This work aims to show the benefits of planned maintenance, creating an elaborate maintenance culture and to reduce a corrective maintenance, which is still happened in many of the companies in the country, because it is in this way that we can prevent and anticipate unplanned situations and stops that are decisive at the time of any process.

* Work Degree

Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Project Manager Eng. Daniel Ortiz Plata, Codirector Ing. Isnardo González Jaimes

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la competitividad de las empresas y negocios es un factor indispensable para el crecimiento y para poder mantenerse en el mercado por lo que es indispensable aplicar una muy buena gestión de activos, y de personal, para poder sacar un máximo provecho en nuestra industria, negocio, o incluso a nuestra vida. Es de aquí que surge el mantenimiento como pilar clave en las prácticas operacionales con equipos y activos para que por medio de distintas metodologías se logre mantener en el tiempo la disponibilidad, longevidad y buen funcionamiento de cada activo de una compañía. Al garantizar la disponibilidad se influye directamente sobre la productividad y esto claramente favorece la competitividad de la compañía, más relevante aún ya que estamos afrontando la cuarta generación del mantenimiento.

Surgen diferentes metodologías en la ingeniería y en el mantenimiento a fin de poder ser más eficientes y productivos en nuestra empresa o negocio. El MCC busca mejorar la eficiencia de nuestros activos realizando un estudio minucioso del equipo y sus partes a fin de mejorar la confiabilidad del equipo, mejorando directamente la disponibilidad y mantenibilidad de un activo a partir de un programa y asignación de tareas planeadas a fin de corregir anticipadamente las posibles fallas, priorizando y categorizando los modos de falla que sean más críticos en el análisis.

Existe la necesidad de comenzar a implementar las diferentes metodologías del mantenimiento programado, según las condiciones de la empresa para escoger la más favorable, y seguir aumentando las buenas prácticas de mantenimiento y así promover una cultura de mantenimiento planeado y programado, reduciendo los mantenimientos correctivos al mínimo y que estos sean los menos significativos. Partiendo de esto se decide realizar un plan de mantenimiento centrado en

confiabilidad (MCC) para una extrusora de PVC, de la sección de extrusiones de A&G SA, la cual no cuenta con un plan de mantenimiento, y poder proporcionarlo a la empresa como aporte a A&G SA y a este cambio cultural acerca del mantenimiento que se tiene en el país.

Además se debe actuar bajo un ámbito internacional en donde con los sistemas de información y la reducción de distancias, con sistemas como el internet, hay que ser parte del proceso de globalización que lleva a cabo todo el planeta para poder ser competitivos frente al mundo, y así por su puesto a nivel local.

En el tema de inyección y extrusión actualmente se vive la era de la industria 4.0, en donde las máquinas para estos procesos incluyen software de detección de errores y corrección sobre la producción, es el almacenamiento y buen uso de la información para la mejora de procesos, esta internacionalización de mercado es el que se debe conquistar y para esto hay que estar actualizado, como dice Giorgio Santella, director de PIOVAN Group, “para 2020 cada uno de nosotros debería satisfacer los requerimientos de la industria 4.0 para ser competitivo, no porque nos guste ser más avanzados en la tecnología, si no para seguir siendo más competitivos en este mundo en evolución, que cada vez es más digital”¹.

Es nuestro deber implementar estas técnicas y metodologías, que se implementan hace muchos años en otros países grandes potencias, industrialmente hablando, si queremos lograr estar al mismo nivel en un mercado internacional, que cada día es más inminente.

¹ Tecnología del plástico. Edición 2. Volúmen 32, abril – mayo 2017. Editorial Carvajal medios

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ENTORNO - DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Arneses y Gomas fue fundada desde 1970, es una empresa que cuenta con más de 130 empleados y se dedicada a la fabricación de piezas en caucho y plástico, mediante los procesos de inyección y extrusión , para la industria de autopartes, todo lo referente a arneses e instalaciones eléctricas (cableado de encendido) de la mayoría de marcas de automóviles reconocidas a nivel mundial, tales como FORD, MAZDA, TOYOTA, COLMOTORES, HINO, también se fabrica mangueras para radiador y mazos de mangueras para la GM (General motors), fabricación de tubo calibrado (PA poliamida y PU poliuretano), tubos y fundas en PVC y el de medidores de gasolina para un gran número de marcas. Además incursiona hace más de 3 años en la industria de la construcción y acabados, mediante la fabricación de tubería flexible, para cableado eléctrico, canaleta plástica y coraza para la parte de acabados. Se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá, en el barrio Pensilvania KR 33 · 10 – 31 localidad de los Mártires, y distribuye sus productos a nivel local y nacional.

La empresa cuenta con 12 extrusoras en este momento de las cuales se ha escogido una de estas para realizar la metodología de MCC y diseñar un plan de mantenimiento a la extrusora JINHAILUO (JHM 45), fabricada por la empresa ZHOUSHANJINHA MACHINERY CO, LTD modelo 45, que es una extrusora con tornillo para PVC, actualmente está en funcionamiento y lleva más de 15 años en la empresa. En ella se sacan más de 8 referencias de productos.

El área de mantenimiento se encuentra dentro del departamento de producción y es este quien asigna las labores diarias a la escuadra que cuenta con 5 técnicos, incluida la persona encargada del torno. A continuación muestro el organigrama de

A&G SA

Figura 1. Estructura organizacional ARNESES & GOMAS SA



Fuente: Arneses & Gomas S.A

1.2 OBJETIVO GENERAL

1. Diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) para la extrusora J H M 45 del área de extrusiones dentro de la empresa Arneses & Gomas S.A.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Revisar y recopilar documentos técnicos de la máquina, si los hay, (catálogos, manuales, etc.).
2. Analizar y entender el funcionamiento de la máquina y sus partes.
3. Determinar y analizar los modos de falla de la máquina y sus piezas más críticos.
4. Fortalecer y aplicar los conocimientos y metodologías aprendidas en la especialización a partir de un caso práctico y real de acuerdo a las necesidades particulares de A & G SA.
5. Demostrar y justificar la necesidad de planes de mantenimiento programados para las máquinas y activos de la empresa.

2. MARCO TEÓRICO

Desde la revolución industrial, inclusive antes, ha existido la necesidad del hombre por mantener sus cosas “activos”, aún más tiempo de su ciclo de vida útil, haciendo énfasis en su uso, condiciones del lugar y condiciones de uso, ya que si se modifican labores y actividades en base a una planeación es posible extender la vida útil de cada uno de nuestros bienes. A lo largo de la historia se han ido desarrollando diferentes teorías basadas en distintas metodologías para llevar a cabo esta práctica de una buena gestión de mantenimiento, una de estas técnicas es el mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC).

“La confiabilidad es la probabilidad de que un servicio se cumpla con una actuación satisfactoria en una función específica para un periodo de tiempo específico sobre condiciones de operación dada.”²

Si se trabaja en aumentar o diseñar un proceso de mantenimiento (mantenibilidad) más eficiente, directamente se aumenta la disponibilidad y como consecuencia directa también aumenta la confiabilidad de un activo, una buena gerencia que gestione un mantenimiento eficiente y efectivo debe tener la visión y claridad de todo el panorama entorno a la práctica, es necesario incentivar el trabajo interdisciplinar, la planeación y organización de labores de mantenimiento en equipo con excelente manejo de información y comunicación, incrementando los 3 indicadores esenciales para el mantenimiento, estos son: mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad.

Luego de la segunda guerra mundial, la producción en serie y la industria, se ha regido por dos factores importantes: 1. técnicas de innovación y 2. volúmenes de producción, lo que perduro por unas 3 décadas, más o menos hasta los años 80,

² SMITH, Anthony M. HINCHCLIFFE, Glenn R, RCM--Gateway to World Class Maintenance. Elsevier 2004. Capítulo 3. Sección 3.2. Página 40

hasta que se introdujo una nueva filosofía en el desarrollo de la industria, lo cual fue la investigación y el desarrollo, lo que modificó implícitamente el WCM (World class maintenance)³, logrando una nueva metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad de los activos, como consecuencia de la búsqueda de más responsabilidad, disponibilidad, seguridad todo en busca de mejorar la rentabilidad, de aquí surge una optimización del mantenimiento preventivo, que ya existía a la época , en pro de perdurar o extender la vida útil de los activos. Una de estas metodologías fue el MCC.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC)

El mantenimiento centrado en confiabilidad tiene sus inicios cuando, en diciembre del 1978, STANLEY NOWLAN y HOWARD F. HEAP ingresan en la aeronáutica civil de Estados Unidos para mejorar el plan de mantenimiento en United Airlines, ya que después de los años 50 se había incrementado la tasa de accidentalidad de las aeronaves, sabiendo que se tenía un error humano del 50%, por lo que había algo que cambiar. De esta experiencia surge el libro “Reliability Centered Maintenance” el cual le da el nombre a la metodología y es tomado muy en cuenta para la realización de documentos muy importantes en la aviación de USA, como lo es el MSG-3, documento de Air Transport Association of America, Inc. 1301 Pennsylvania Avenue, NW - Suite 1100 Washington, DC 20004-1707 USA.

Esta industria siempre ha requerido un índice de confiabilidad muy alto en sus máquinas y componentes por el riesgo mortal en cualquier accidente, y esta es la razón de la baja accidentalidad en esta industria.

Para el MCC es indispensable un análisis detallado del equipo a estudiar, todas sus partes y componentes, definir bien función, para garantizar un buen plan de

³ Ibíd, p. 19

mantenimiento, la siguiente definición encierra y resume lo que significa el 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”⁴

La norma SAE JA 1011 explica muy bien lo que se debe buscar en el MCC o lo que se debe preguntar para hacer una buena práctica de MCC:

- 1.Cuál es la función? Es lo que el usuario desea que haga la máquina
- 2.Cuál es la falla funcional? Razones por las que deja de cumplir su función o funciones.
- 3.Cuál es el modo de falla? Que pudo causar la falla funcional.
- 4.Cuál es el efecto de la falla? Que ocurre cuando la falla se produce.
- 5.Cuál es la consecuencia de la falla? Razones por las que importa y se debe tener en cuenta que falle.
6. Que se puede hacer para evitar o minimizar la consecuencia de la falla?
7. Que se hace si no se encuentra ninguna tarea para evitar o minimizar la consecuencia de la falla ?

Y es por esto que es indispensable una acción conjunta con el operario u operarios de la máquina, pues son quienes pasan más tiempo con la máquina en funcionamiento.

Como se menciona anteriormente es muy importante saber definir bien una falla funcional para iniciar una buena práctica de MCC, siguiendo la definición de la SAE JA1011 para una falla funcional:

“Estado en el cual un activo físico o un sistema es incapaz de realizar una función

⁴ MOUBRAY, Jhon. RCM II. Industrial Press, Incorporated. Jun 1. 2012

específica con un nivel de desempeño deseable.”⁵

Metodología del MCC

1. Taxonomía y fronteras.
2. Definir Funciones.
3. Fallas Funcionales.
4. Modos de falla
5. Análisis de riesgo y análisis de efectos (criticidad)
6. Tareas, frecuencias y recursos.
7. Implementación.

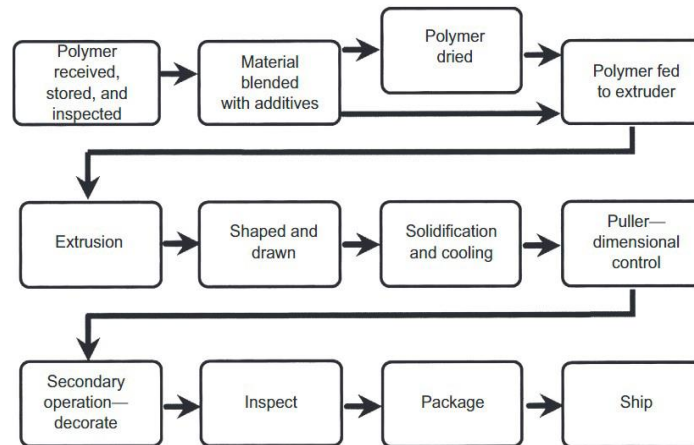
Proceso de extrusión

El proceso de extrusión es utilizado con materiales amorfos, en su estructura cristalina, como lo son los polímeros y cauchos, los cuales se llevan hasta su temperatura de fusión para poderles dar formas y geometrías deseadas.

A continuación podemos ver el proceso general completo desde que se adquiere la materia prima hasta el embalaje y carga del producto terminado para su entrega, así lleva a cabo el proceso en A&G SA.

⁵ ORTIZ PLATA, Daniel. Presentación de clase. curso RCM. Especialización gerencia en mantenimiento prom. XIX. 2017

Figura 2. Esquema del proceso básico de extrusión



Fuente: Arneses & Gomas S.A

Básicamente lo que se busca en este proceso es poder calentar el material o materia prima hasta su punto de fusión para así poderlo mover y moldear o conformar con mayor facilidad forzando a pasar el material fundido por una zona de ahogo, con el fin de poder igualar el perfil de velocidad del material y lograr mayor homogeneidad en el proceso de extrusión, logrando una buena relajación del material (que se duerma y fluya constantemente), y así poder pasarlo por un dado o molde, el cual le da la forma deseada de la pieza, por lo que es muy importante el acabado superficial del dado, pues cualquier imperfección o rugosidad en la superficie de este se notará en la pieza terminada. Para evitar que se cierre o se peguen las paredes de las piezas huecas o para dar dimensiones más precisas en el proceso se utiliza aire comprimido o vacío.

Para lograr esto la máquina de extrusión realiza 5 funciones las cuales son:

1. Transporte de materia prima en estado sólido.
2. Fusión del material.
3. Transporte, compresión y homogeneización de material.
4. Des gasificado (Opcional según el equipo).

5. Conformado.

En la mayoría de los casos las funciones 1, 2 y 3, mencionadas anteriormente, las realiza el tornillo en el conjunto camisa - tornillo de la máquina, las cuales se explican más adelante. En la primera función la salida de la tolva de alimentación coincide con la entrada de la garganta del material, la cual desemboca directamente sobre el tornillo y es este el que transporta el material, como se puede observar en la imagen 4.

La función de desgasificación la cumplen las unidades de extrusión que por diseño traigan esta opción, o sean rediseñadas. Son conductos al exterior a través de la camisa para que salgan los vapores del calentamiento de material.

También existen otras variables, que se deben controlar, que modifican el producto terminado en el proceso de extrusión y son las siguientes:

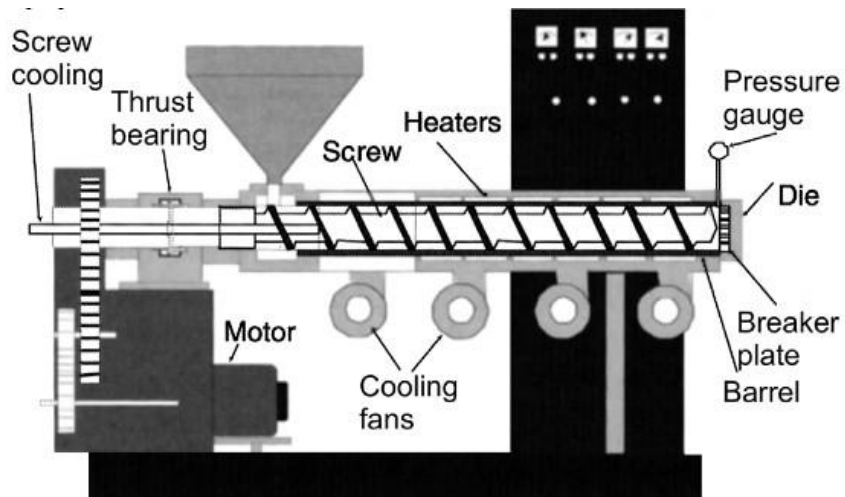
1. Tipo de material: Según el tipo de material o la mezcla sus características y propiedades son independientes para cada uno de ellos.
2. Temperatura: El control de temperatura es muy importante, pues el material no debe quemarse al interior de la máquina y debe fluir con facilidad, por lo que se precalienta la máquina antes de ingresar material.
3. Velocidad del tornillo: Es la que controla la velocidad del proceso de extrusión pues es la velocidad con la que sale el material de la máquina.
4. Alimentación: Durante el proceso es importante que la máquina nunca quede sin material, pues si sucede hay que realizar nuevamente la puesta a punto de la máquina. La alimentación es directamente proporcional a la velocidad del tornillo.
5. Temperatura de enfriamiento: Al salir el material de la máquina, ya con la geometría deseada, se enfría el material con agua, la cual se calienta durante el proceso, si se quiere controlar esta variable, se debe instalar un

equipo de enfriamiento en la línea de proceso.

6. Limpieza: Es muy importante que no halla impurezas en el material, de procesos anteriores.
7. Velocidad del jalador: Velocidad del material, ya extruido, con la que el jalador tensiona la extrusión ya enfriada y conformada, con esta velocidad se puede modificar el espesor y la geometría de la extrusión.
8. Aire comprimido: este se inyecta por el interior de la extrusión, sobre todo en piezas huecas, modifica el tamaño y el espesor, no en todos los procesos.

A continuación, en el siguiente esquema, se muestra la estructura y el funcionamiento de una unidad de extrusión de tornillo sencillo, o un solo tornillo, similar a la extrusora JHS 45 que se ha escogido para este trabajo práctico.

Figura 3. Partes principales de una extrusora de un solo tornillo



*Fuente: The Definitive Processing Guide and Handbook, Fecha: 2014*⁶

Básicamente la unidad de extrusión JHS 45 se compone de un motor eléctrico, son motores grandes y su potencia depende de la capacidad de flujo de la máquina, el

⁶ WAGNER, John R., MOUNT, Eldridge M. GILES, Harold, F. Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook. Fecha: 2014

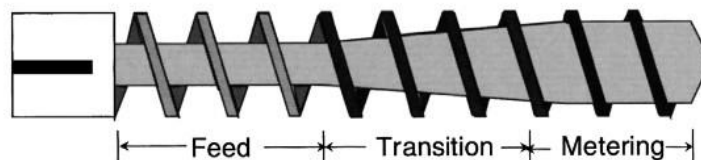
cual transmite potencia al tornillo, por medio de una transmisión de correas y poleas de seis bandas, y un reductor de piñones. El tornillo se encuentra confinado en una camisa, y es el que transporta el material a través de la camisa, la cual se va calentando por medio de las resistencias ubicadas en las diferentes zonas de la camisa, las diferentes zonas de calor hacen que el material pase de sólido a líquido (temperatura de fusión), pues el material ingresa en forma de pellets (sólido).

Las partes de una extrusora se describen a continuación.

1. El tornillo:

El tornillo tiene la geometría dependiendo del material que se desea trabajar, ya que varía la altura y el ángulo del filete según el material principal de la mezcla (el componente principal me refiero al que tiene mayor proporción en peso), incluso algunos tornillos vienen con mezclador en la parte final de este para materiales como el nylon. En la figura se ve las diferentes zonas del tornillo, el tornillo de extrusión es diferente al tornillo de inyección. El tamaño del tornillo (diámetro) también depende de la capacidad de la máquina.

Figura 4. Zonas del tornillo de extrusión.

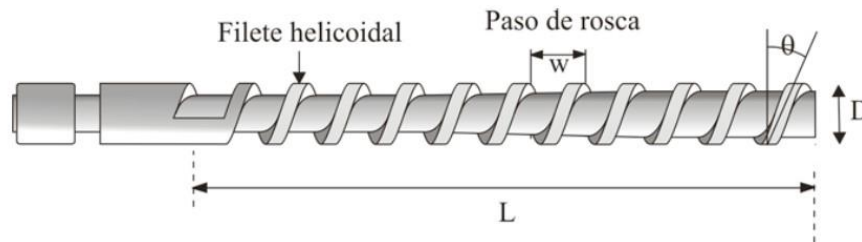


*Fuente: The Definitive Processing Guide and Handbook, Fecha: 2014*⁷

Los parámetros de fabricación del tornillo son los mismos de diseño para cualquier tornillo como lo son: El diámetro, la longitud, el paso de rosca y el ángulo del filete.

⁷ *Ibíd*, p. 25

Figura 5. Parámetros de diseño del tornillo

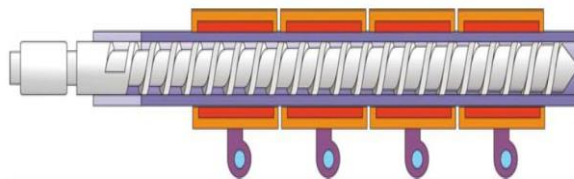


Fuente: *The Definitive Processing Guide and Handbook*, Fecha: 2014.⁸

2. La camisa:

Cilindro cerrado, también llamado barril resistente a altas temperaturas y presión de trabajo alta y muy fino y liso acabado superficial, en donde se encuentra confinado el tornillo, el cual contiene el material a extruir durante el proceso de transporte y fusión del material. Tiene asociada, para este caso particular, cuatro resistencias las cuales calientan las diferentes zonas de la camisa a fin de lograr una completa fusión y buena homogeneización del material a trabajar dentro de esta. Estas resistencias están controladas por los controladores que a su vez comandan el tiempo de encendido y apagado de los ventiladores, uno por cada resistencia, para mantener la temperatura en el rango de temperatura requerido. Son controladores on/off tipo relay que encienden y apagan tanto resistencias como ventiladores.

Figura 6. Esquema del tornillo



Fuente: *The Definitive Processing Guide and Handbook*.⁹

⁸ Ibíd, p. 25

⁹ Ibíd, p. 25

Figura 7. Resistencias camisa



3. Garganta de alimentación

Esta conecta la salida de la tolva con la estructura de la máquina conectando el canal de la tolva con el canal del tornillo a la altura de la zona de alimentación. El tamaño promedio de la abertura de la garganta sobre el tornillo es en proporción al diámetro del tornillo, su longitud es $1.5 \times D$ y su ancho $0.7 \times D$, claro está que esto depende del fabricante de la máquina.

4. Tolva de alimentación

Es un recipiente de contención diseñado para facilitar el ingreso o alimentación de material a la máquina. Su diseño puede variar según el fabricante, lo indispensable es que el diseño cause la menor resistencia para que el material en estado sólido se deslice hacia dentro de la máquina, más específicamente hacia el interior de la camisa por el tornillo.

Figura 8. Tolva de alimentación



En la figura anterior vemos claramente la garganta de dos salidas de la máquina, la salida que vemos descubierta se usa cuando se requiere recoger el material que ya se ha vertido en la tolva pero que no se va a utilizar, se recoge y se guarda para su posterior uso.

5. Plato rompedor y filtro

El filtro es de metal y va ubicado al final de la camisa, antes del cabezote, cuando se colocan varios filtros antes del plato se colocan del más grueso al más fino (menos permeable) y por último el plato rompedor, que sujeta los filtros. Este paso termina de homogenizar el material antes de su conformado.

Figura 9. Filtro - Plato Rompedor - Conjunto 1



6. Cabezote / Boquilla

Es la parte final de la extrusora en donde se monta la boquilla o el dado en el cabezote, el cual va fijo a la estructura de la máquina. Tiene un diseño particular en donde hay un plato pisador que ajusta la boquilla con el perfil a producir, además cuenta con tornillos de ajuste que permiten centrar la boquilla durante el proceso de extrusión. Si se va a producir manguera, la boquilla se conforma de 3 piezas, una pirinola, un pinocho y la boquilla y sus cavidades (del cabezote) son en su mayoría cónicas para que faciliten la fluidez del material. Es indispensable que cuente con un orificio por donde le entre aire al material, y permita el estado de relajación (buena fluidez).

En el cabezote de la máquina se encuentra la última resistencia con su ventilador de refrigeración, esta calienta exclusivamente el cabezote.

Figura 10. Boquilla - Pinocho - Pirinola



Figura 11. Conjunto 2



Figura 12. Vista frontal del montaje

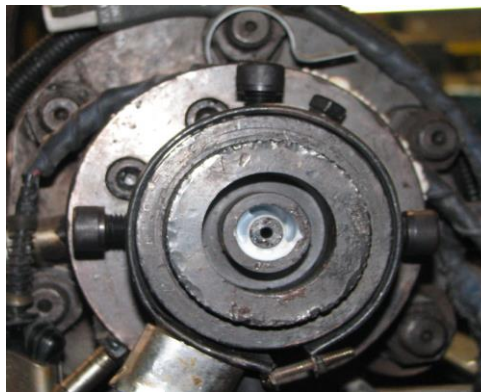
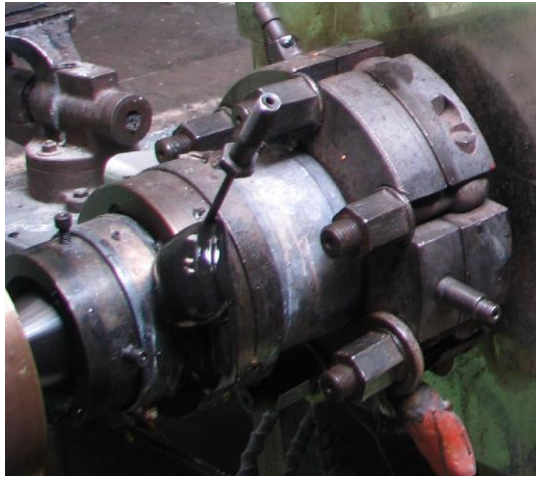


Figura 13. Cabezote durante el proceso de extrusión



En una línea de extrusión se cuenta con equipos auxiliares, que facilitan y mejoran el proceso, además modifican parámetros del proceso como velocidad de jalado o temperatura de enfriamiento, lo que añade más variables al proceso. Estos son equipos como:

1. Cubeta de enfriamiento: Cuba (puede ser de vacío, de ser así lleva con sigo todo el sistema de bombas, líneas y conexiones) que contiene agua para enfriar el material extruido recién sale del dado (pinocho) o boquilla de la máquina.
2. Intercambiador de calor: Equipo de transferencia de calor para la seguridad de la unidad de enfriamiento o “Chiller”.
3. Chiller: Equipo para mantener constante la temperatura de ciertos fluidos, en este caso mantiene el agua de la cubeta a una temperatura constante.
4. Jalador: Equipo diseñado para jalar el material una vez sale de la extrusora, además lleva el conteo de metros de producto terminado.
5. Impresora: Cuando se requiere que un producto salga marcado de la planta, requerimientos del cliente.
6. Enrollador: Está al final de la línea, acomoda el producto en rollos y carretes para la entrega a los clientes.

7. Cortador: equipo auxiliar que realiza un corte en la extrusión, ya terminada, por la referencia de ciertos productos.

La cantidad de equipos depende de la referencia y tipo de producto inclusive puede haber líneas con extensiones mayores a las nombradas anteriormente.

Materiales Poliméricos

Los polímeros son materiales con una estructura cristalina muy singular, pues se enlazan en cadenas alargadas y sin algún orden conformado por monómeros que se repiten a lo largo de esta cadena. Según los tipos de monómeros se clasifican en homopolímero, se denomina así al polímero que está formado por el mismo monómero a lo largo de toda su cadena, el polietileno, poli estireno o polipropileno son ejemplos de homopolímeros. Por otra parte están los copolímeros son los polímeros que están formado por al menos 2 monómeros diferentes a lo largo de toda su cadena, el ABS o el SBR son ejemplos de copolímeros.

En función de la composición química, los polímeros pueden ser inorgánicos como por ejemplo el vidrio, o pueden ser orgánicos y se clasifican en cuatro grupos importantes que son los siguientes:

Termoplásticos: Son los polímeros que al someterlo a temperatura el material pasa a un estado líquido, en donde se puede deformar o moldear, y al enfriarse recupera su estado sólido, este proceso se puede realizar las veces que se desee. Sus características se deben a que los enlaces moleculares se hacen mediante fuerzas de Vander Waals, como consecuencia de este fenómeno se cuenta con dos tipos de polímeros termoestables según su estructura, los que tienen una estructura cristalina (ordenada) y los que tienen estructura amorfa (sin ningún orden)

Termoestables: Poseen una estructura molecular finamente reticulada, se puede

decir ordenada, lo que le proporciona propiedades particulares, son materiales muy rígidos, poco elásticos y muy frágiles. Una vez se calienta el material y se funde, se le da la forma pero al recuperar el estado sólido ya no se vuelve a deformar ni cambia a estado líquido, así se le eleve su temperatura, otra vez.

Elastómeros: Son polímeros que tienen un cierto orden en su micro estructura, la cual es de forma ligeramente reticulada, hay más espacio con red reticulada, por lo que son materiales con alta elongación o elasticidad y flexibilidad.

Termoplásticos elastómeros: es una aleación de materiales termoplásticos con cauchos que obtienen propiedades particulares.

3. APLICACIÓN DE METODOLOGÍA MCC A LA MÁQUINA JHS 45

3.1 CAMINOS DE INTERACCIÓN

Es muy importante definir los caminos entre procesos y equipos y sus relaciones e interacciones entre ellos para poder establecer muy bien nuestro sistema o volumen de control a analizar y poder enfocarnos en lo que realmente nos interesa. Con este fin lo mejor es realizar una taxonomía de equipos

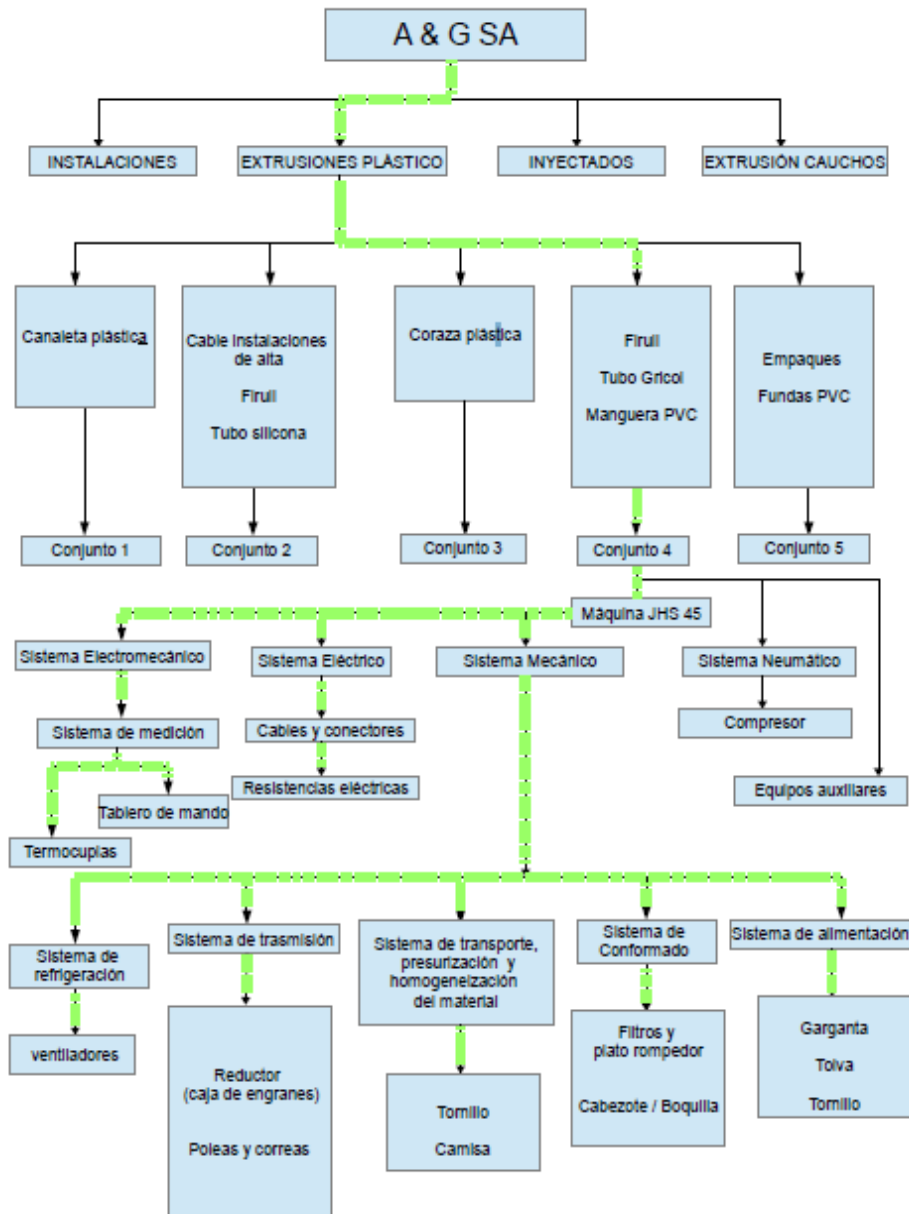
Para una mejor visualización de estos caminos y relaciones, este se muestra a continuación en el diagrama de jerarquización.

3.1.1 JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS

En la empresa actualmente existen 4 áreas o secciones principales las cuales son, sección de inyección, sección de extrusión, sección de instalaciones y la sección de coraza, cada sección tiene su supervisor, quien se encarga de dirigir las operaciones por área, y están bajo el mando del jefe de producción.

La máquina que se escogió pertenece a la sección de extrusiones plásticos y se compone de tres sistemas, sistema eléctrico, sistema mecánico y sistema electromecánico, en donde cada uno de estos tiene sus componentes y partes principales.

Figura 14. Diagrama de jerarquización de equipos

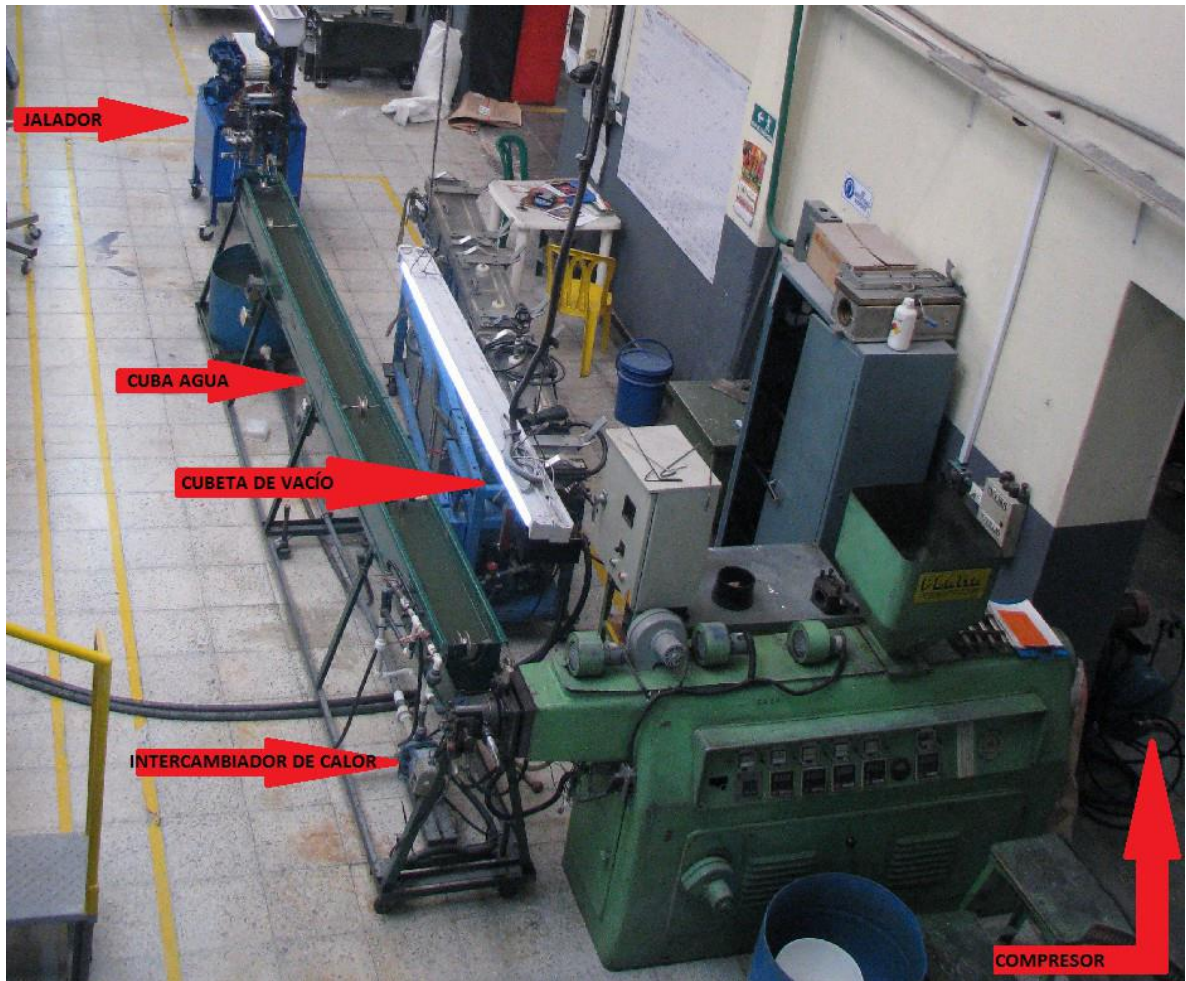


3.1.2 VOLUMEN DE CONTROL / SISTEMA

Lo primero que se define es el volumen de control o sistema sobre el cual se va a trabajar. Nuestro volumen de control es una unidad de extrusión JINHAILUO (JHM 45), fabricada por la empresa coreana ZHOUSHANJINHA MACHINERY CO, LTD modelo 45, es una extrusora de tornillo sencillo, un solo tornillo, la cual se describe

más adelante.

Figura 15 . Línea de extrusión, con equipos auxiliares



Según la información almacenada en el sistema de la compañía a la máquina se le han realizado 26 mantenimientos de los cuales 3 han sido correctivos y los demás preventivos, según los reportes de mantenimiento. En los mantenimientos correctivos ha sido en donde se ha intervenido realmente la máquina y se realizaron los siguientes trabajos:

2004/08/03 se remplaza la resistencia de la boquilla con un tiempo de operación de 145 min.

2005/03/16 se cambió la resistencia de la boquilla y su taco eléctrico, tiempo de operación 180 min.

2006/01/30 Se desmontaron 3 ventiladores para su reparación, la cual fue externa realizada por un contratista, tiempo de operación 300 min.

Además en los siguientes dos mantenimientos preventivos:

2007/12/13 Se cambian todos los ventiladores.

2008/07/07 Se cambia la resistencia interna del cabezote, el tiempo de operación fue 300 min.

Los demás mantenimientos han sido preventivos y sin ninguna novedad, más parecido a una actividad de monitoreo por condición.

El sistema es la unidad de extrusión con sus 6 partes ya mencionadas en la sección 1.4 de este documento, como lo muestra el esquema siguiente, tiene las siguientes entradas y salidas:

ENTRADAS

1. Energía eléctrica: El motor eléctrico que mueve el tornillo de la máquina trabaja a 380 Voltios, además los controladores y componentes electrónicos trabajan a 220 Voltios, por lo que la máquina, en su tablero de mando, trae incorporado un transformador de voltaje, con el fin de conectar a un solo punto de corriente la máquina.
2. Materia prima: Es la mezcla preparada, según la referencia de producto que se desea extruir, la cual es preparada por el operario y depositada por el

mismo en la tolva de alimentación de la máquina, esta operación debe ser constante pues la máquina no puede quedarse sin material ya que se afecta la regularidad del producto final.

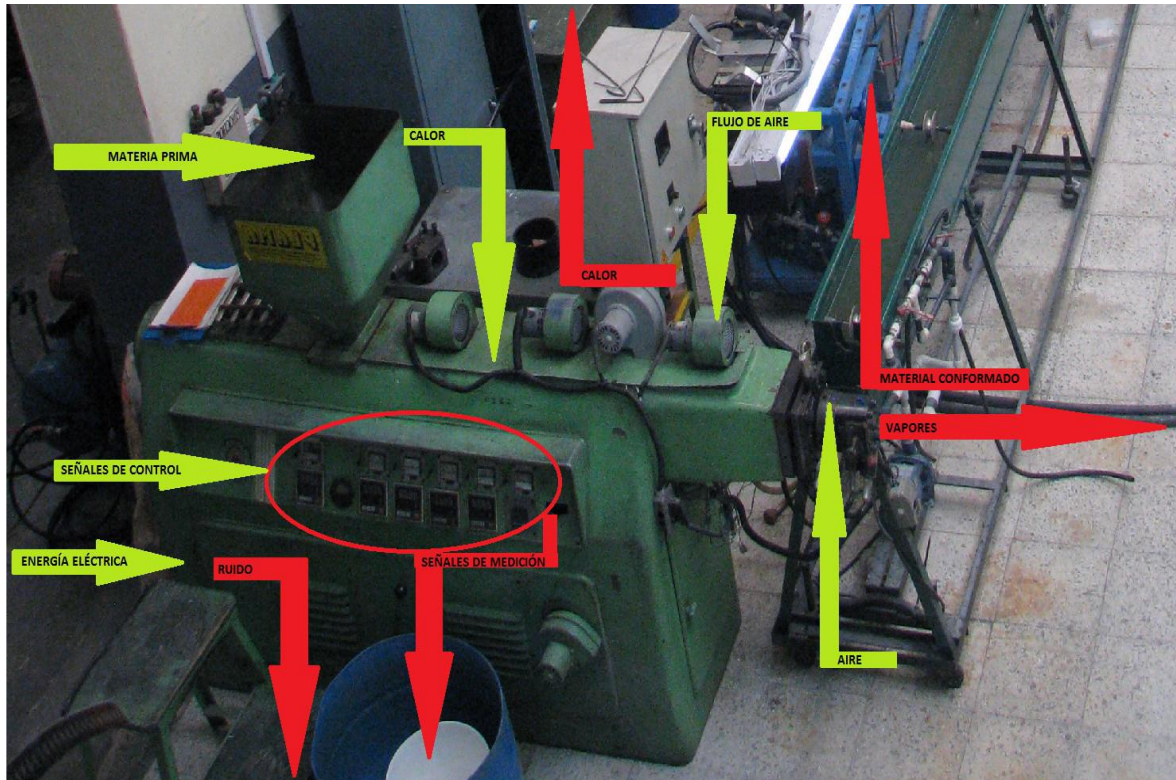
3. Señales de control: Son las que por medio de los controladores digitales transmiten la información que tiene el operario del proceso a la máquina, a fin de poder controlar la temperatura dentro de las diferentes zonas de la camisa, para así poder realizar una buena fusión del material.
4. Calor: Energía térmica en forma de calor, producida por las 6 resistencias de la máquina en sus diferentes posiciones. Estas trabajan con los parámetros fijados por el operario en el tablero de mando, y se apagan y encienden para mantener la temperatura por medio de conectores tipo relay.
5. Flujo de aire: Este flujo proviene de los ventiladores de refrigeración de la máquina, son manejados por conectores tipo relay basados en los parámetros fijados por el operario sobre el tablero de mando y producen convección forzada sobre las resistencias a fin de dar un mejor control de temperatura.
6. Aire: Es otro flujo de aire forzado simplemente por la presión atmosférica, ingresa por un conducto que tiene el cabezote a fin de que el material no se cierre y se relaje mejor por diferencia de presiones.

SALIDAS

1. Señales de medición
2. Calor
3. Ruido
4. Vapores

5. Material conformado

Figura 16. Esquema de salidas y entradas



Básicamente la máquina se divide en tres sub-sistemas , un sistema electro - mecánico que se compone de controladores, los cuales van en el tablero de mando y son los que controlan las temperaturas de las 6 resistencias de la máquina, además controlan el encendido y apagado de los ventiladores de refrigeración, las termo cuplas que se encargan de sensar las temperaturas de las diferentes resistencias y envía una señal que se ve en pantalla del controlador digital, para obtener mayor control en el proceso. Esta el sistema mecánico, el cual se conforma a su vez por 5 sub-sistemas los cuales son:

Sistema de refrigeración: se compone por lo cuatro ventiladores o fan de refrigeración, básicamente el sistema de ventilación y refrigeración, de las

resistencias, es manejado desde el tablero de mando de la máquina, exactamente desde el controlador de temperatura de las resistencias eléctricas. Estos se encienden y se apagan a fin de mantener la temperatura en el rango deseado por el operario para las diferentes zonas de la camisa y el cabezote.

Sistema de Trasmisión:

Este sistema se encarga de transmitir la potencia requerida por el tornillo de la máquina del motor eléctrico al tornillo, la relación de trasmisión la realiza un reductor de engranajes helicoidales, son dos engranajes helicoidales con sistema de lubricación de baño de aceite en su carcasa cerrada, el nivel del aceite se mide con un nivel en la parte lateral del reductor. Además también hacen parte de este sistema las dos poleas que transmiten la potencia del eje del motor al eje de entrada del reductor, son poleas de 6 canales para 6 bandas en V.

Figura 17. Trasmisión de poleas de 6 bandas en V



Sistema de alimentación: es por donde ingresa la materia prima (mezcla) a la máquina, inicia con la tolva de alimentación, la cual tiene una forma de “embudo”, por decirlo así, que facilita la caída del material en la garganta, con ayuda de la fuerza de gravedad y la geometría de la tolva. La compuerta de la garganta debe estar abierta para que permita el paso de material a través de esta, que desemboca directamente sobre el tornillo de la máquina.

Sistema de compresión: Es el sistema que realiza tres funciones de las funciones principales de la unidad de extrusión, se compone por la camisa y el tornillo, y tiene equipos auxiliares y componentes como las resistencias, que van montadas alrededor de la camisa, los ventiladores también ayuda a mantener la temperatura de la camisa en el rango de trabajo deseado.

Sistema de conformado: Este sistema se conforma por el cabezote y demás piezas que lo complementan como boquillas, pinochos, pirinolas, etc.

3.1.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A continuación se muestran las especificaciones técnicas de la máquina, y la mayoría de componentes que la complementan

Sistema Mecánico

Figura 18. Reductor de engranes



Reductor
Relación: 10-1
Tipo: Engranajes helicoidales

Figura 19. Trasmisión de poleas de 6 bandas en V



Trasmisión
Tipo: Poleas de 6 bandas en V

Figura 20. Ventilador de refrigeración



Ventilador (FAN)
Voltaje: 220 V
Corriente: 55 Amp
Potencia: 1/3 HP
Marca: Robbins Myers
RPM: 1750
Ruido: 82 dB

Tornillo
Diámetro: 450 mm
Longitud: 1350 mm
Relación de compresión: 2.5

Sistema eléctrico

Figura 21. Motor eléctrico



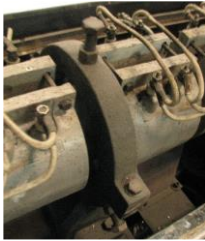
Motor
Voltaje: 380 V
Corriente: Amp
Potencia: 15 KW
Referencia: Type Y160L
RPM: 1460
Ruido: 82 dB

Figura 22. Variador de velocidad



Variador
Voltaje: 380 V
Potencia: 15 KW
Marca: YASKAWA
Referencia: 616PC5

Figura 23. Resistencia eléctrica



Resistencias
Voltaje: 380 V

Sistema electromecánico

Figura 24. Control de temperatura

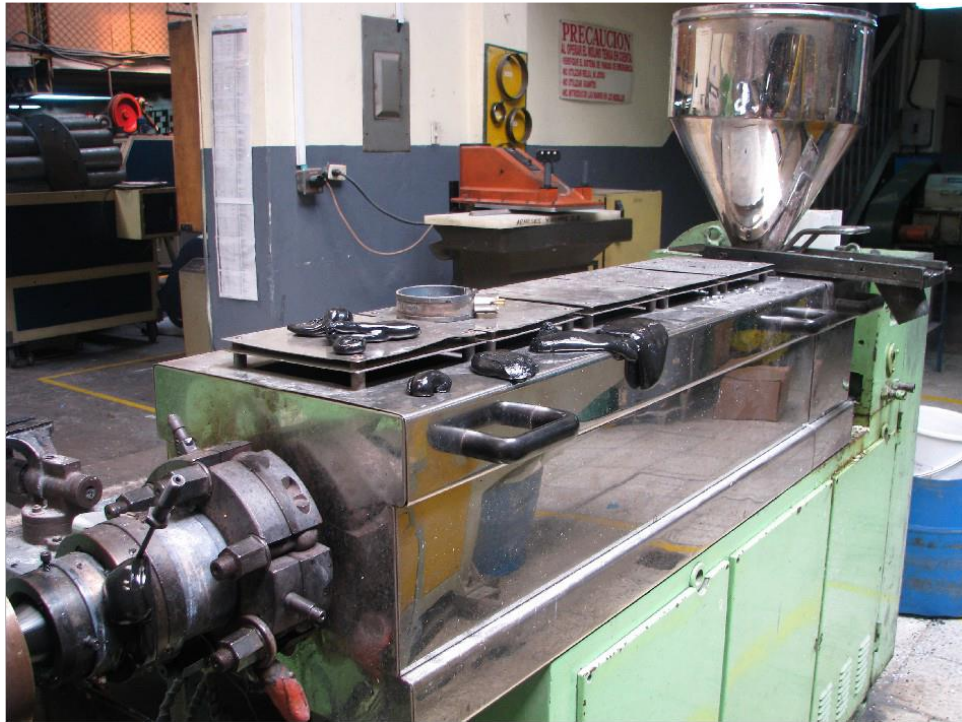


SISTEMA ELÉCTRO- MECÁNICO
Controlador Resistencias
Modelo: CHAOZFND-MCN-NN
Range: 0 – 400 °C
Input: PT 100
Output: Relay
Frecuencia: 50/60 Hz

3.1.4 CONDICIONES OPERACIONALES

La JHS 45 lleva más de 17 años de servicio en la empresa, y aunque su trabajo depende de la programación semanal del departamento de producción, aunque los turnos de los operarios son de 12 horas máximo, hay reprogramas eventuales que han llevado a la máquina a trabajar hasta 24 horas de corrido. A continuación una tabla con las condiciones operacionales de la máquina en un turno normal.

Figura 25. Extrusora JHS 45



3.1.5 CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales son las de la ciudad de Bogotá en donde está ubicada la planta.

Temperatura ambiente: [20 – 25] °C

Humedad: [40 – 45] %

3.1.6 FRONTERAS

Las fronteras al inicio del proceso en la máquina JHS45 tenemos al operario quien prepara la mezcla y la vierte en la tolva de alimentación asegurando que el nivel mínimo se mantenga, pues que la máquina se quede sin material es un problema muy crítico. Antes de ingresar el material a la máquina tiene contacto con el aire (húmedo) y temperatura, aunque el material se mantiene en el horno a una temperatura homogénea y para sacarle la humedad.

A la salida de la máquina, es decir en el cabezote, la materia prima ya conformada con lo primero que tiene contacto es con el aire, quien por proceso de normalizado lo enfría, y segundos después entra en contacto con la cubeta de vacío, en donde hay agua fría y presión de vacío. Luego entra al jalador, antes del jalador se encuentra la impresora que es la que marca las leyendas de los productos y dependiendo de la tinta y del proceso se usa calor (llama directa) o no para el secado de esta, y por último a su empaque.

3.1.7 INTERFACES

Entradas:

- Materiales de mezcla, materia prima
- Energía eléctrica
- Aire
- Humedad

Salidas:

- Material extruido y conformado
- Vapores y gases, producto de la quema de material
- Calor
- Ruido

3.2 FUNCIONES

Funciones primarias

Para este estudio en particular se concluyó que la unidad de extrusión JHS 45 tiene tres funciones principales que debe realizar para poder entregar el producto

terminado y las funciones secundarias que se describen brevemente a continuación.

1. FP1 - Transportar, comprimir y homogeneizar el material a través de las diferentes zonas de la camisa hasta el final de la boquilla.

Esta función se lleva a cabo desde que el operario deposita la mezcla de materia prima en la tolva de admisión de material hasta que el material sale de la máquina ya conformado pues la velocidad de transporte se mantiene constante una vez se está conforme con el producto terminado, se parametriza el proceso de extrusión, aunque por más que se repitan los parámetros, cada vez que se realiza una extrusión nunca sale igual. La función de transportar, cuando el material sale de la garganta hacía el tornillo, la realiza el tornillo a través de la camisa hasta que sale el material conformado por la boquilla, a la vez que transporta el material este se comprime, gana presión gracias a la zona de ahogo. El visto bueno lo da el operario, en primera instancia, luego el supervisor del área, luego de realizar una inspección visual y metrológica de equipos de y dispositivos para medición como las galgas y el calibrador.

Una vez el material es transportado por el tornillo al interior de la camisa y entra en la primera zona de calor comienza la homogenización del material, proceso ayudado de la presurización del material y la alta temperatura de las diferentes zonas de calor, hasta que sale del cabezote, pues en este se encuentra ubicada la última resistencia y el ultimo ventilador. Se termina de homogeneizar al pasar por los filtros y el plato rompedor .

Figura 26. Resistencia cabezote

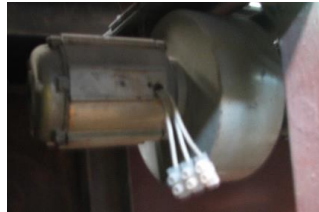


Figura 27. Tablero de mando



El operario por medio de los controladores digitales de temperatura entregan la temperatura de la máquina, por medio de pulsos electrónicos enciende y apaga las resistencias que van alrededor de la camisa, son 5 resistencias en la camisa. Estas resistencias se prenden y apagan a la vez que los ventiladores de refrigeración hacen lo mismo, se encienden y se apagan, a fin de mantener el rango de temperatura en todas las zonas de la camisa. Esta máquina cuenta con cuatro ventiladores de refrigeración, 3 ubicados bajo las resistencias de la camisa y uno ubicado bajo el cabezote, donde se ubican 3 resistencias más para un total de 8 resistencias en el proceso. Los ventiladores giran a diferentes tiempos y velocidades según las señales censadas por las termocuplas sobre cada resistencia.

Figura 28. Ventilador de refrigeración



3. FP2 - Conformar el material a través del cabezote

Cuando el material está en condiciones óptimas para su conformado, se pasa por el cabezal, el cual a su interior contiene muchas superficies cónicas, para favorecer el desplazamiento del material al interior de este. Es muy importante que al cabezote, y por ende al material, le entre aire ambiente, por lo que tiene una cavidad para que entre el aire, y con las diferencias de presiones y el aire, produce un estado de relación en el material procesado. Los filtros y el plato rompedor también hacen parte de este sistema pues se montan a la entrada de material del cabezote.

Funciones secundarias

1. FS1 - Contener el flujo de masa

Esta función la realiza la camisa que contiene el material de trabajo, el acero de la camisa debe contener grandes presiones y temperaturas.

2. FS2 - Contener el lubricante del reductor en su lugar

La carcasa del reductor contiene el lubricante en su lugar para que funcione el sistema de baño constante sobre los dos engranes helicoidales.

Los controladores en el tablero de mando de la máquina y equipos electrónicos, guiados por las señales de las termocuplas, mantienen la temperatura de trabajo, en el rango seleccionado por el operario, apagando y prendiendo las resistencias y

ventiladores de la máquina simultáneamente. El variador de velocidad se encarga de mantener las rpm constantes. Estas son funciones internas de la máquina.

Figura 29. Productos de diferentes referencias manufacturados en la máquina JHS 45 de Arneses y Gomas SA



3.3 FALLAS FUNCIONALES

Se encontraron 7 fallas funcionales para la operación normal del equipo, se describen a continuación.

FF1.1 No comprime: Sale muy poco material de trabajo o no sale nada por la boquilla

FF1.2 Comprime a menor presión que la de trabajo: El material no fluye a velocidad constante al final de la boquilla.

FF1.3 No enciende la máquina: Máquina inhabilitada.

FF1.4 No calienta el material a su punto de fusión: Se presentan esfuerzos muy grandes en la camisa y el tornillo, presencia de ruido y vibraciones.

FF3.1 No sale material por la boquilla: Aumento de presión al interior del cabezote.

FF4.1 No se mantiene la presión en la camisa: El material no llena la boquilla completa y sale con problemas dimensionales y de geometría, el material se gasta más rápido y se fuga de la camisa.

FF5.1 No contiene el lubricante del reductor en su lugar: Hay fugas de aceite por la carcasa del reductor, el nivel no se mantiene, contacto directo entre los dientes del reductor.

3.4 MODOS DE FALLA

Después de analizar los reportes de mantenimiento, compartir experiencias y consultar al supervisor, los operarios, los técnicos e ingenieros, en una operación conjunta, se ha llegado a encontrar 22 modos de falla para el equipo de estudio.

MF1 - Bobinado motor en corto

Descripción: No arranca el motor, hay presencia de humo y/o olor (quemado), conato de incendio, riesgo descarga eléctrica,

Consecuencias: Reducción 25% en la producción daño de bobinado, cambio de motor y/o de bobinado (2 millones/ 500mil respectivamente).

MF2 - Eje de la polea roto.

Descripción: Eje entra en falla.

Consecuencias: No arranca el tornillo, presencia de ruido, presencia de vibraciones,

presencia de desbalanceo. Cambio del eje con un costo aproximado de \$150.000.

MF3 - Bandas de la transmisión rotas.

Descripción: Una o varias bandas rotas por desgaste, presencia de residuos.

Consecuencias: Pérdida de torque en el eje del reductor, pérdida de potencia, no arranca el tornillo, desbalanceo en los ejes de las dos poleas, cambio de las bandas que hagan falta, parámetros inestables durante el proceso. El costo es de \$160.000 c/u.

MF4 - Dientes reductor fracturados

Descripción: Contacto entre engranes irregular.

Consecuencias: No gira reductor, no gira el tornillo, daño engranes del reductor, reducción 40% de producción, cambio de engranajes (2'000.000)

MF5 - Rodamientos del reductor pegados.

Descripción: Rodamientos pegados, no gira el rodamiento.

Consecuencias: No giran los ejes del reductor, no arranca el tornillo, presencia de ruido, presencia de vibraciones, posible desbalanceo. Costo del rodamiento \$ 100.000 c/u

MF6 - Rodamientos del reductor rotos.

Descripción: Rodamientos destrozados, no gira el rodamiento.

Consecuencias: No giran los ejes del reductor, no arranca el tornillo, presencia de ruido, presencia de vibraciones, posible desbalanceo. Costo del rodamiento \$ 100.000 c/u

MF7 - Eje del reductor roto

Descripción: Eje en falla, no trasmite torque ni potencia.

Consecuencias: No arranca el tornillo, presencia de ruido, presencia de vibraciones, presencia de desbalanceo. Cambio del eje con un costo aproximado de \$150.000.

MF8 - Tornillo roto

Descripción: Tornillo en falla, no transporta el material.

Consecuencias: El material no fluye por la máquina, no sale por la boquilla, presencia de ruido intenso y presencia de vibraciones, reducción en la producción en un 50 %. Costo de la reparación \$6'000.000

MF9 - Rodamiento del tornillo pegado

Descripción: Rodamiento no gira

Consecuencias: No gira el tornillo, presencia de ruido, presencia de vibraciones, material no fluye a través de la máquina, no sale el material por la boquilla. Costo del rodamiento \$ 200.000

MF10 - Ventilador quieto

Descripción: El ventilador no se mueve

Consecuencias: Ventilador no gira, no mantiene la temperatura de trabajo, el acabado del producto no es satisfactorio

MF11 - Rodamiento del ventilador roto

Descripción: El ventilador no se mueve

MF12 - Tablero en corto

Descripción: No enciende la máquina.

Consecuencias: El motor eléctrico no arranca, no hay transmisión de potencia, el material no fluye, máquina inhabilitada.

MF13 - Tornillo pandeado

Descripción: Presencia de ruido y vibraciones.

Consecuencias: Esfuerzos de desbalanceo sobre el tornillo, sobre el rodamiento y la estructura.

MF14 - Resistencia de la camisa dañada.

Descripción: No se obtiene la temperatura de trabajo.

Consecuencias: El material no fluye bien, se generan esfuerzos sobre el tornillo y se incrementa la presión en la camisa.

MF15 - Cabezote tapado

Descripción: No tiene salida el material.

Consecuencias: El material no fluye bien, se generan esfuerzos sobre el tornillo y se incrementa la presión en la camisa.

MF16 - Resistencia del cabezote dañado

Descripción: El material no alcanza la temperatura para conformarse bien o tener un buen acabado.

Consecuencias: Problemas en la geometría de la pieza, se pega el material a la boquilla y el cabezote, se obtiene un acabado superficial defectuoso.

MF17 - Control de temperatura del cabezote dañado

Descripción: El material no alcanza la temperatura para conformarse bien o tener un buen acabado.

Consecuencias: Problemas en la geometría de la pieza, se pega el material a la boquilla y el cabezote, se obtiene un acabado superficial defectuoso. No se obtiene control sobre el proceso.

MF18 - Cable del circuito de la resistencia del cabezote roto

Descripción: El cabezote no se calienta

Consecuencias: Problemas en la geometría de la pieza, se pega el material a la boquilla y el cabezote, se obtiene un acabado superficial defectuoso. No se obtiene control sobre el proceso.

MF19 - Camisa del tornillo con fuga

Descripción: Materia prima sale por la camisa.

Consecuencias: No se mantiene la presión al interior de la camisa, parámetros del proceso no se mantienen.

MF20 - Carcasa del tornillo con fuga

Descripción: Lubricante sale por la carcasa.

Consecuencias: No se mantiene el refrigerante y lubricante al interior de la carcasa, daños en los dientes de los engranes.

3.5 ANÁLISIS DE FALLA FMECA

Para el análisis de criticidad he escogido la matriz de probabilidad Vs consecuencias visto en la materia de RCM con una adaptación a la empresa, solamente se modificó los rangos de costos basándome en los datos que se tienen de la máquina en específico.

Se analizan 4 factores indispensables como lo menciona la norma SAE, JA 1012, los cuales son:

- Factor Ambiental
- Factor Humano
- Factor Económico
- Factor Imagen (frente al público, clientes)

Se analiza el riesgo de cada modo de falla sobre cada factor para poder establecer realmente cuales son los modos de falla más críticos, se estableció un rango de

criticidad de 1 a 30 cuantificando el valor del riesgo. ¹⁰

$$RIESGO = PROBABILIDAD \times CONSECUENCIA$$

Tabla 1. Matriz de criticidad

CONSECUEN CIA		PROBABILIDAD					
		IMPOSIB LE	IMPROBAB LE	REMOT O	OCASION AL	MODERA DO	FRECUEN TE
Catastrófico	5	5	10	15	20	25	30
Crítico	4	4	8	12	16	20	24
Marginal	3	3	6	9	12	15	18
Insignificante	2	2	4	6	8	10	12
Ninguno	1	1	2	3	4	5	6
		> 4 Años	< 3 Años	< 2 Años	< 1AÑOS	< 6 Meses	± 1 Mes
		1	2	3	4	5	6

Para evaluar el riesgo económico del modo de falla se utilizaron los datos de un día de trabajo del equipo normal, un turno de 12 horas sacando la misma referencia, aunque este dato no es muy preciso ya que en esta máquina se sacan varias referencias el mismo día, según el programa, lo que significa que se debe realizar un alistamiento y puesta a punto de la máquina para cada referencia, por lo que la producción disminuye significativamente.

En un turno de 12 horas se producen 8000 metros de manguera a \$1450 pesos el metro para un total de 11'600.000 por turno, \$ 967.000 pesos por hora y \$ 16.111

¹⁰ Daniel Ortiz Plata, Presentación de clase, curso RCM, Especialización gerencia en mantenimiento prom. XIX, 2017

pesos por minuto, se quitan los tiempos de descanso y puesta a punto de la máquina para obtener este valor el cual se usa para calcular el valor económico del riesgo (una sola referencia). Además se tuvo en cuenta que al contar con 2 extrusoras más para el mismo tipo de material, se utilizan como back up de la máquina cuando esta entra en fallo y hay una parada no programada, a fin de poder cumplir con la programación mensual y los re programas.

También se clasifica la falla si es oculta o no, este concepto se basa en si la falla es evidente y se puede detectar o se debe realizar una parada del equipo para comenzar a buscar nuestra falla.

A continuación vemos en el cuadro los códigos de falla, asociados a cada falla, si esta es oculta o no, y un valor económico con el análisis de criticidad según la matriz utilizada.

Tabla 2 Criticidad en los modos de falla.

Cód. FF	Cód. MF	FALLA OCULTA	R. Ambiental	R. Humano	R. Económ.	R. Imagen	Valor económico del riesgo (\$)
FF1.1	MF1	SI	D2	D1	D4	A1	\$ 6'300.000
FF1.1	MF2	SI	C2	D1	D3	A1	\$ 1'900.000
FF1.1	MF3	SI	A2	A1	D2	A1	\$ 1.160.000
FF1.1	MF4	SI	A1	A1	B5	A1	\$ 35'000.000
FF1.1	MF5	SI	A1	A1	B3	A1	\$ 2.600.000
FF1.1	MF6	SI	A1	A1	B3	A1	\$ 2.600.000
FF1.1	MF7	SI	A1	A1	D4	A1	\$2'500.000
FF1.1	MF8	SI	A1	A1	C4	A1	\$ 174.000. 000
FF1.1	MF9	NO	A1	A1	D4	A1	2'500.000
FF1.1	MF10	SI	A1	A1	E3	1A	\$ 3.000.000
FF1.1	MF11	SI	A1	A1	E3	1A	\$ 3.000.000
FF1.2	MF12	SI	A1	E4	E2	A1	\$ 350.000
FF1.3	MF13	SI	A1	A1	C4	A1	\$ 174.000. 000
FF1.4	MF14	SI	A1	A1	D3	A1	7'000.000
FF3.1	MF15	SI	A1	A4	A1	A1	\$ 10.000
FF3.1	MF16	SI	A1	A1	D4	A1	\$1'700.000

Cód. FF	Cód. MF	FALLA OCULTA	R. Ambiental	R. Humano	R. Económ.	R. Imagen	Valor económico del riesgo (\$)
FF3.1	MF17	NO	A1	E4	E2	A1	\$ 350.000
FF3.1	MF18	SI	A1	A1	A2	A1	\$ 200.000
FF4.1	MF19	SI	A3	A1	E2	A1	1'800.000
FF5.1	MF20	NO	A3	A1	E2	A1	1'000.000

3.6 LISTADO DE TAREAS

Para la toma de decisión acerca de las tareas de mantenimiento a realizar se sigue la metodología del algoritmo para toma de decisión de la norma internacional SAE, JA 1012, se obtiene la misma cantidad de tareas como modos de falla. A continuación se muestra el algoritmo utilizado para la decisión de tareas, siguiendo la metodología FMECA, que incluye un análisis de criticidad basado en la matriz de criticidad mostrada anteriormente.

Como resultado se obtienen 20 tareas programadas para el plan de mantenimiento, cada una asociada a un modo de falla.

Más adelante se presenta un cuadro donde se relaciona cada falla funcional, modos de falla y por último la tarea asignada al plan de mantenimiento, lo que facilita de manera visual un resumen del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para esta unidad de extrusión de plástico JHS 45 de tornillo sencillo.

A continuación se muestra el cuadro de decisión, con el tipo la descripción y frecuencia de cada tarea o función a realizar, además el personal que lo debe realizar y los equipos y recursos a utilizar.

Tabla 3. Actividades del plan

Cód. FF	Valor económico del riesgo (\$)	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
FF1.1	\$ 6'300.000	Mantenimiento predictivo Monitoreo (megger)	inyectar tensión para determinar el estado del bobinado	Mensual	Equipo Megger 1472, personal de mantenimiento	001
FF1.1	\$ 1'900.000	Mantenimiento predictivo Monitoreo (megger)	inyectar tensión para determinar el estado del bobinado	Mensual	Equipo Megger 1472, personal de mantenimiento	002
FF1.1	\$ 1.160.000	CBM	Inspección visual	Diario	Contratista	003
FF1.1	\$ 35'000.000	Mantenimiento predictivo Monitoreo	Análisis de vibraciones	bimensual	Medidor de vibraciones - contratista	004
FF1.1	\$ 2.600.000	Mantenimiento predictivo Monitoreo	Análisis de vibraciones	semestral	Medidor de vibraciones - contratista	005
FF1.1	\$ 2.600.000	Mantenimiento predictivo Monitoreo	Análisis de vibraciones	Semestral	Medidor de vibraciones - contratista	006
FF1.1	\$2'500.000	Mantenimiento predictivo Monitoreo	Análisis de vibraciones	Semestral	Medidor de vibraciones - contratista	007
FF1.1	\$ 174.000. 000	Mantenimiento preventivo, Monitoreo	Ensayos no destructivos	Anual	Contratista	008
FF1.1	\$2'500.000	Mantenimiento predictivo Monitoreo	Análisis de vibraciones	Semestral	Medidor de vibraciones - contratista	009

Cód. FF	Valor económico del riesgo (\$)	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
FF1.1	\$ 3.000.000	Tarea programada de restauración o reincorporación.	cambio de ventiladores	anual	Proveedor	010
FF1.1	\$ 3.000.000	Tarea programada de restauración o reincorporación.	cambio de ventiladores	anual	Proveedor	011
FF1.2	\$ 350.000	CBM	Inspección visual y limpieza	Mensual	Personal de Mantenimiento	012
FF1.3	\$ 174.000. 000	CBM	Inspección visual y limpieza	anual	Personal de Mantenimiento	013
FF1.4	\$7'000.000	CBM	Medición eléctrica	mensual	Personal de Mantenimiento, multímetro	014
FF3.1	\$ 10.000	CBM	Inspección visual y limpieza	Diario	Operario de la máquina	015
FF3.1	\$1'700.000	CBM	medición eléctrica	mensual	Personal de Mantenimiento	016
FF3.1	\$ 350.000	Correr a falla	cuando entre en corto el circuito eléctrico se revisa y se cambia	N A	Personal de Mantenimiento, multímetro, cable, conectores.	017

Cód. FF	Valor económico del riesgo (\$)	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
FF3.1	\$ 200.000	Correr a falla	cuando entre en corto el circuito eléctrico se revisa y se cambia	N A	Personal de Mantenimiento, multímetro, cable, conectores.	018
FF4.1	1'800.000	CBM	inspección visual	semanal	Operario de la máquina	019
FF5.1	1'000.000	CBM	inspección visual	semanal	Operario de la máquina	020

3.7 ACTUALIZACIÓN DEL PLAN

Actualmente no hay plan de mantenimiento por lo que la actualización sería la implementación del plan

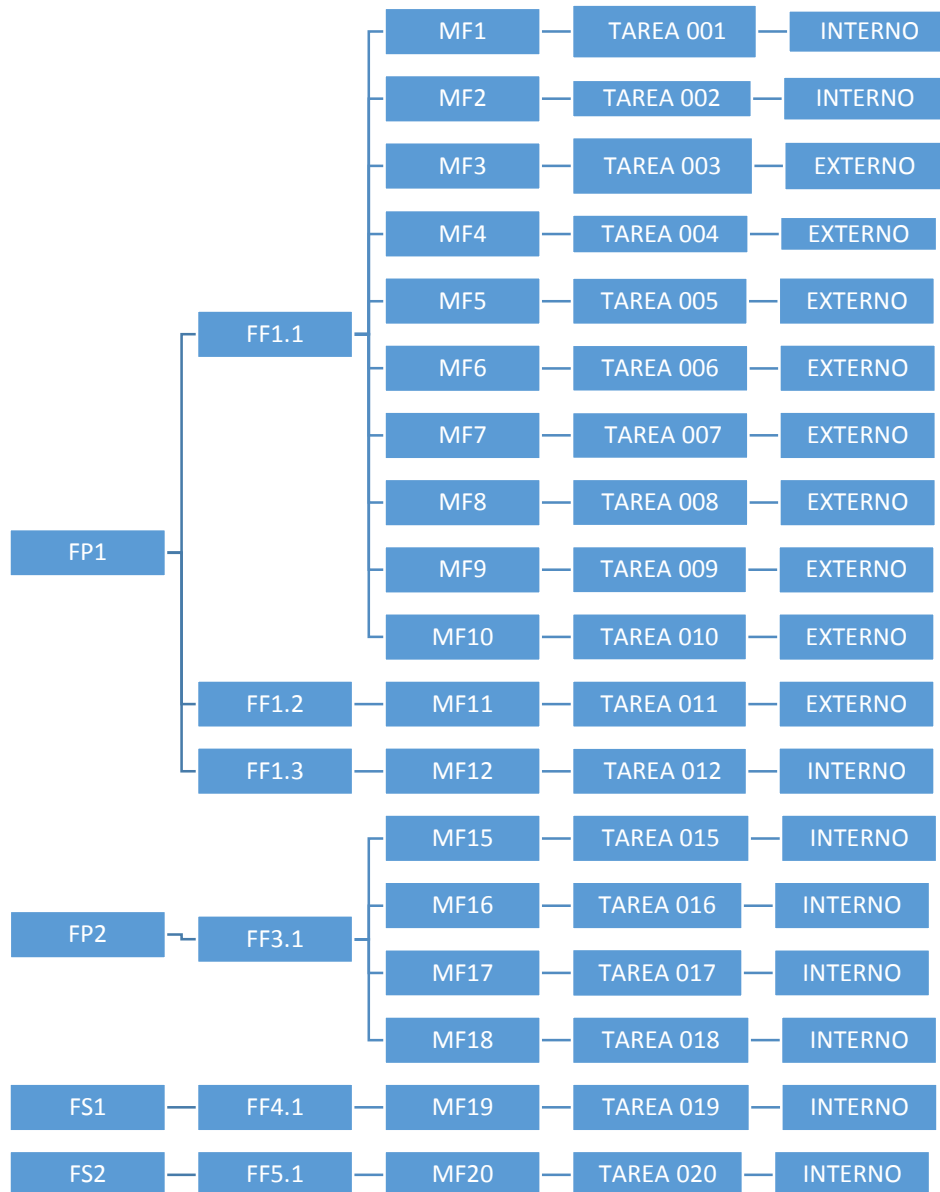
Las tareas de monitoreo, más especializadas por equipos y personal capacitado, se deben realizar por personal externo a la empresa, contratistas especializados en el tema, o los proveedores del producto, en total son nueve tareas que se realizan por personal externo a la empresa, dos de ellas son el cambio e equipo con el proveedor, la instalación de estos se realiza por el personal de mantenimiento de A&G SA, estas tareas tienen un costo adicional para la empresa.

Las otras 25 tareas del plan se deben realizar por personal de la empresa, ya sea el personal de mantenimiento o los operarios de la máquina, de ser así deben recibir la respectiva capacitación para poder realizar una buena actividad de mantenimiento y el plan pueda ser efectivo, estas tareas están incluidas en el contrato de los operarios y personal técnico que participen de estas.

Los externos se dividen en análisis por vibraciones y ensayos no destructivos, estos últimos se dividen en convencionales y no convencionales.

A continuación se muestra el diagrama de funciones y tareas para la máquina JHS 45 de la empresa A&G SA.

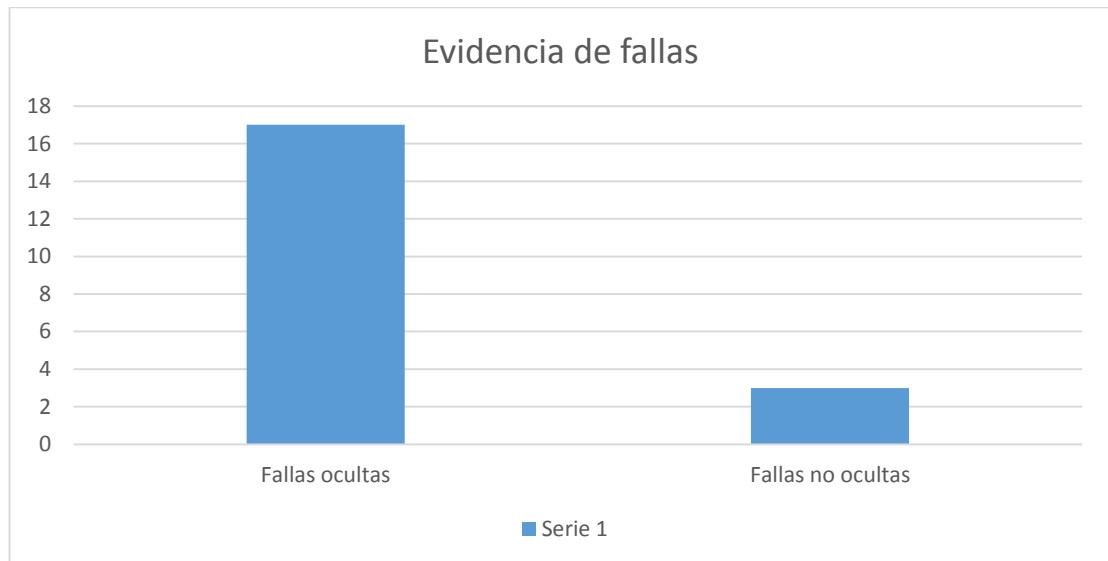
Figura 30. Diagrama de funciones, modos de falla y tareas



4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

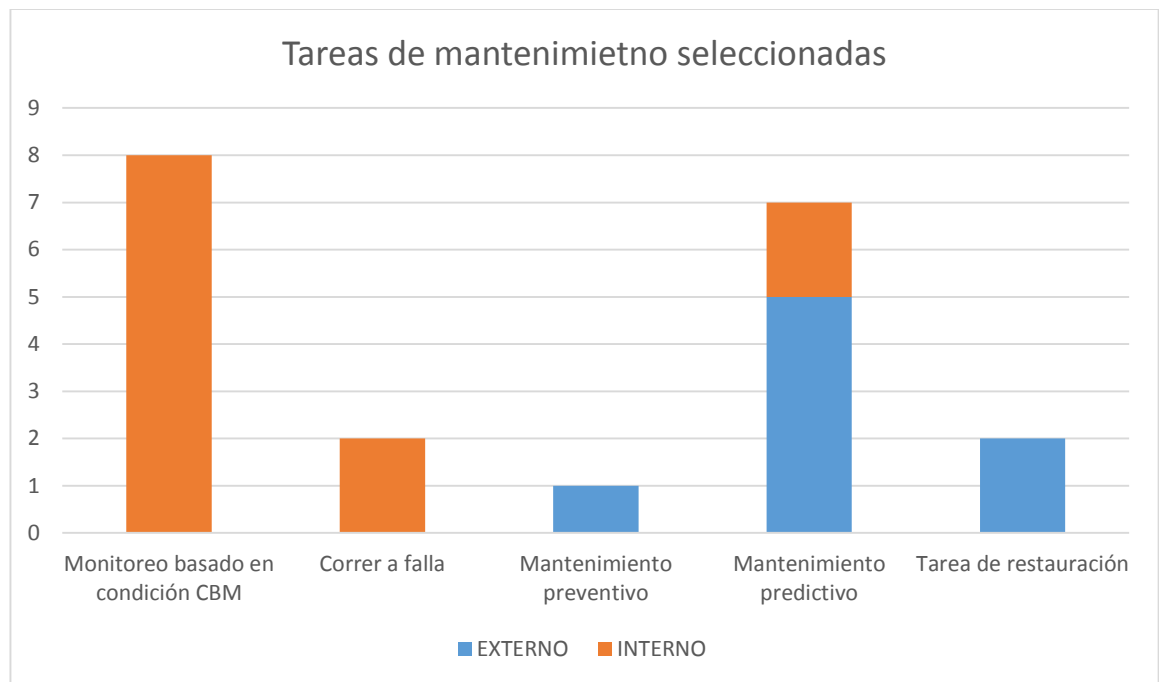
Como resultado del análisis con la metodología MCC se obtienen 24 tareas a realizar según el modo de falla y su análisis de criticidad se determinó el tipo de tarea y la frecuencia.

Gráfica 1. Fallas ocultas



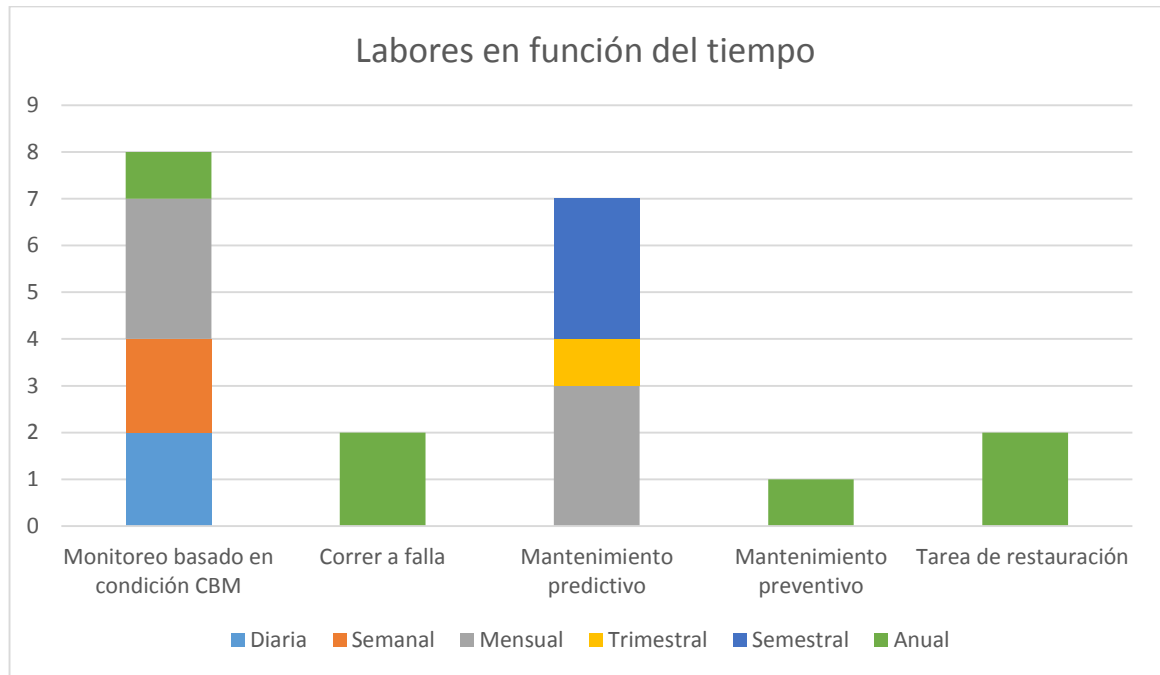
Por el diseño de la máquina, la mayoría de sus fallas son ocultas, pues la mayoría de sus componentes se encuentran cubiertos y algunos no son de fácil acceso, en las labores de monitoreo se deben realizar muy bien, así tomen más tiempo. Ahora esto tendrá como efecto un mayor número de mantenimientos basados en condición más complejos e intensos.

Gráfica 2. Tareas seleccionadas internas - externas



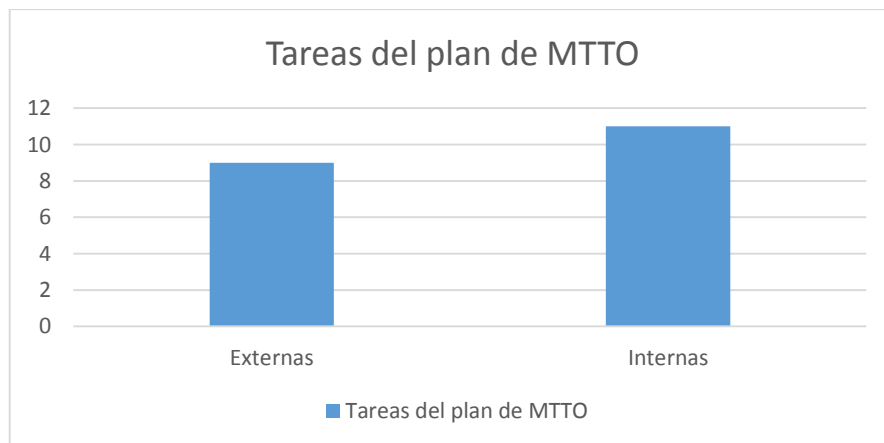
Como muestra la gráfica las labores de mantenimiento preventivo y predictivo, se realizan con personal externo a la empresa debido a los equipos y la preparación técnica que se requiere para estas actividades, pues la empresa actualmente no cuenta con los equipos ni el personal capacitado para realizar esta labor de inspección.

Gráfica 3. Tipos y frecuencia de labores del plan de mantenimiento

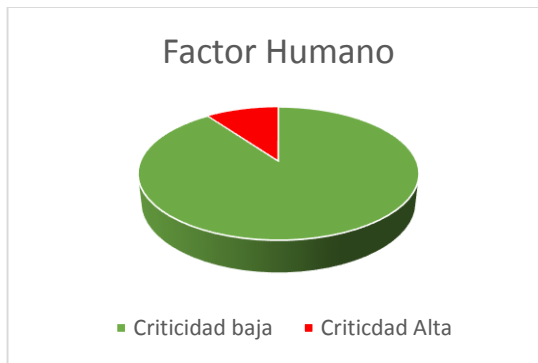


Las labores más numerosas son las de monitoreo por condición, que en su totalidad son realizadas por el personal de la compañía responsable, y no implican costos adicionales a la empresa.

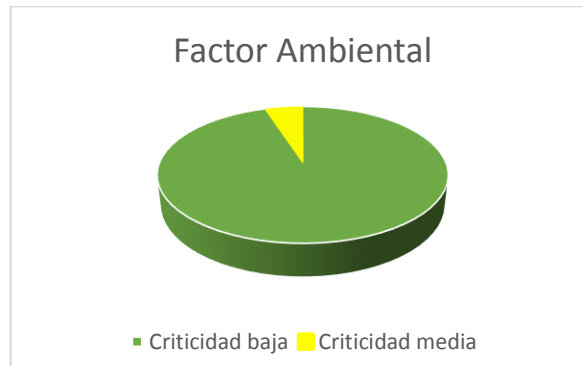
Gráfica 4. Asignación de tareas



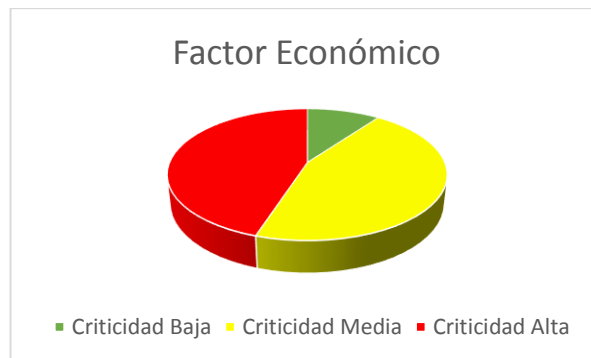
Gráfica 5. *Criticidad en factor ambiental*



Gráfica 6. *Criticidad en factor Humano*



Gráfica 7. *Criticidad en factor Económico*



Gráfica 8. Criticidad en factor Imagen



Como se observa en los gráficos anteriores el factor más crítico es el económico, el cual es el que más afecta a la empresa, y es obvio, el factor de imagen no se afecta significativamente con la máquina en fallo. El factor ambiental no es muy significativo tampoco al igual que el del hombre, y es que la accidentalidad con esta máquina ha sido nula.

5. CONCLUSIONES

- Es muy importante analizar los costos reales de una falla no programada, y por tanto tener un buen manejo de información e indicadores, para darse cuenta de las pérdidas reales y todo lo que implica una parada no programada en la máquina. De esta manera se justifica un plan de mantenimiento planeado.
- Al ser la mayoría de tareas realizadas por el personal de la compañía, no se generan muchos gastos en el plan de mantenimiento elaborado.
- Es necesario contar con el trabajo de contratistas especializados para realizar todas las tareas de mantenimiento predictivo y preventivo (monitoreo) ya que no se cuenta con los equipos y la capacitación del personal.
- Para los modos de falla MF 10 y MF 11 lo mejor es realizar una labor de inventario de repuestos y tener en el stock el repuesto de uno o dos ventiladores, con el fin de que los MRT (Tiempo medio de reparación) sea el menor posible y no hallan pérdidas de tiempo buscando el repuesto a fin de que la máquina salga de producción el menor tiempo posible.
- Es indispensable capacitar al personal, los operarios de las máquinas, para que puedan realizar una buena inspección visual y una buena labor de mantenimiento.
- Se debe mejorar el sistema de información de los mantenimientos e intervenciones de la empresa y que sea información de fácil acceso para todos los que intervienen en el plan.

- La matriz de riesgo utilizada no es de la empresa, ya que no cuenta con ella, por lo que es una potencial mejora para la empresa.
- Definitivamente es muy importante evitar las paradas no programadas por la función de esta máquina y la cantidad de productos que se sacan en ella, se debe iniciar tomas de datos que faciliten mantenimientos futuros pues no se cuenta con un sistema de información eficiente.
- Actualmente no hay plan de mantenimiento por lo que la actualización sería la implementación del plan.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASKELAND, Donald R y PRADEEP, Prabhakar Phulé. Ciencia e ingeniería de los materiales. Cuarta edición. 1998.
2. CORTEZ, Carlos Julio. Fundamentos de gestión de manufactura. Universidad Nacional de Colombia, 2014
3. IEC 60300-3-11, Application guide –Reliability centred maintenance, International Electrotechnical Commission, 1999.
4. ISO 14224, Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, International Organization for Standardization, 2004
5. MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II, Aladon Ltd, Buenos Aires-Madrid 2004)
6. NOWLAN F, Stanley y Howard F, Heap, “Reliability-centered Maintenance”, Department of Defense, Washington, D.C,1978, Report Number AD-A066579, Unclassified.
7. ORTIZ PLATA, Daniel. Memorias de clase RCM. Guía práctica. 2017
8. SAE JA1012, A guide to the Reliability - centered Maintenance (RCM) Standard. Society of Automotive Engineering, 2002.
9. SAE JA1011, Evaluation Criteria for Reliability-centered Maintenance (RCM) Processes, Society of Automotive Engineering, 1999.
10. SIEGERT, Klaus y Sauer G, Bauser, M. Extrusión second edition, 2006
11. SMITH, Anthony M y HINCHCLIFFE, Glenn R. RCM--Gateway to World Class Maintenance. Elsevier 2004.
12. Tecnología del plástico, edición 2, Vol. 32, abril – mayo 2017, Editorial CARVAJAL.