

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

IMPLEMENTACIÓN DE RCM A PROCESO DE GRANALLADO EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE LA EMPRESA BONEM

Esteban Cardona Arboleda

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electromecánico

Asesor
Daniel Sanín Villa

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM
Facultad de Ingenierías
Departamento de Electromecánica
Medellín, Colombia
2021

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RESUMEN

La implementación de RCM (*Reliability Centred Maintenance, Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad*) a proceso de granallado en la planta de producción agrícola de la empresa Bonem, es un proyecto en el cual se desarrolla una metodología para la creación de un plan de mantenimiento a los equipos involucrados en el proceso, el cual es nuevo en la compañía, y desde su arranque en enero de 2018 ha generado múltiples pérdidas por paros de producción.

Con la implementación de esta metodología se buscará bajar los costos de mantenimiento y las pérdidas de producción por mantenimientos correctivos en el proceso de granallado, lo que genera altos tiempos de paro en la planta agrícola.

Para lograr el éxito de esta implementación el desarrollo de esta estrategia se dividirá en los siguientes pasos:

- PASO1: Diseñar los indicadores de mantenimiento centrados en RCM
- PASO2: Recopilar y estandarizar la información técnica de sistemas, subsistemas y componentes del equipo.
- PASO 3: Determinar y analizar las posibilidades de falla del equipo.
- PASO 4: Diseñar las medidas preventivas para evitar fallas, basado en la metodología RCM.
- PASO 5: Categorizar las medidas preventivas a realizar en el equipo, basado en la metodología RCM.
- PASO 6: Documentar las medidas preventivas y las posibilidades de mejora generadas con la implementación de la metodología RCM.

Finalmente, esta implementación aportará en la compañía Bonem un programa de mantenimiento que reducirá las fallas, generando confiabilidad y disponibilidad de los equipos del proceso, y reducirá las pérdidas por paros de producción, siendo una técnica piloto para la aplicación en los demás procesos de la empresa.

Palabras clave: Bonem, RCM, granallado, disponibilidad, indicadores de mantenimiento.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RECONOCIMIENTOS

Agradezco al Instituto Tecnológico Metropolitano por sus excelentes instalaciones y personal que permitieron formarme como Ingeniero y poder desarrollar este importante proyecto.

A los Docentes Juan Gózalo Ardila y Carlos Alberto Acevedo ya que, con sus enseñanzas, desarrolle importantes conocimientos para el desarrollo de este proyecto como también para mi vida profesional.

Al Docente Daniel Sanín Villa por su amabilidad, respeto e importante acompañamiento y asesoría en mi trabajo de grado.

A la empresa Bonem y personal que allí labora, ya que día a día durante mi carrera han permitido aplicar mis conocimientos para solucionar los problemas de los procesos de las plantas de producción y la mejora de estos, así mismo darme la oportunidad de aplicar el RCM en sus equipos.

Por último agradezco a mi familia y mi novia, por el apoyo moral en el desarrollo de este trabajo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ACRÓNIMOS

TPM Total Productive Maintenance (Mantenimiento Productivo Total)

RCM Reliability Centred Maintenance (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad)

GB01 Código diferenciador de máquina granalladora de banda.

SAP Applications, Products in Data Processing (Sistemas, Aplicaciones y Productos para el procesamiento de datos)

ITM Instituto Tecnológico Metropolitano

AMEF Análisis de modos y efectos de falla

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
Generalidades	9
Objetivos	10
General	10
Específicos	10
Organización de la tesis.....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	12
El mantenimiento y su origen	12
Mantenimiento correctivo	14
Mantenimiento preventivo	15
Mantenimiento predictivo	16
Metodologías y tácticas de mantenimiento	17
Mantenimiento proactivo	17
Mantenimiento reactivo	18
Optimización del mantenimiento preventivo (PMO).....	18
Mantenimiento productivo total (TPM).....	19
Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad (RCM)	20
Metodología RCM	21
Historia del RCM.....	21
Conceptos de RCM	21
Fases del RCM	22
Ventajas del RCM	23
Desventajas del RCM.....	25
Bonem S.A.	25
Proceso de granallado	27
Granalladora.....	28
Planes de mantenimiento en Bonem	30

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.	METODOLOGÍA.....	31
	Levantamiento de indicadores.....	32
	Desarrollo de las fases del RCM	33
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
	Levantamiento de Indicadores.....	36
	Desarrollo de las fases.....	38
	Fase 0: Datos técnicos, sistemas, subsistemas y componentes.....	38
	Fase 1: Funciones y principios de funcionamiento	41
	Fase 2: Fallas funcionales	49
	Fase 3: Modos de falla.....	49
	Fase 4: Efectos y consecuencias de modo de falla.....	54
	Fase 5: Planteamiento de medidas preventivas	69
	Fase 6: Agrupación de medidas preventivas.....	73
	Fase 7: Puesta en marcha de medidas preventivas	81
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	86
	Conclusiones.....	86
	Recomendaciones	87
	Trabajo a futuro	87
	REFERENCIAS	89
	ANEXOS.....	91
	Anexo A: Plano de control eléctrico y potencia eléctrica	91
	Anexo B: Planos mecánicos y estructurales	92

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Lista de Ilustraciones

<i>Ilustración 1. Evolución del Mantenimiento (Villanueva, 2014)</i>	14
<i>Ilustración 2. Actividades básicas del mantenimiento preventivo (Rendon, 1997)</i>	16
<i>Ilustración 3. Ciclo vicioso del mantenimiento reactivo (Turner, 2002)</i>	18
<i>Ilustración 4. Beneficios del RCM (Mora, 2009)</i>	24
<i>Ilustración 5. Interior y exterior de Bonem (Bonem S.A., 2020)</i>	26
<i>Ilustración 6. Productos de Bonem (Bonem S.A., 2020)</i>	27
<i>Ilustración 7. Pieza granallada (Surfat S.A., 2013)</i>	28
<i>Ilustración 8. Granalladora GB01 Bonem (Fuente propia)</i>	29
Ilustración 9. Pasos para la implementación del RCM.....	32
Ilustración 10. Base de datos mantenimientos correctivos (Bonem, 2018).....	33
Ilustración 11. Indicador número de averías Bonem 2018.....	36
Ilustración 12. Indicador número de averías planta agrícola Bonem 2018.....	37
Ilustración 13. Indicador número de averías planta automotriz Bonem 2018.....	37
Ilustración 14. Pareto de Averías Bonem 2018-2019.....	38
Ilustración 15. Instructivo de mantenimiento electromecánico mensual en SAP GB01.....	82
Ilustración 16. Documento generado para el instructivo de operación y limpieza GB01.....	83
Ilustración 17. LUP de mejora en sistema de control eléctrico.....	84
Ilustración 18: Pareto de averías Enero a Julio 2021.....	85

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Lista de Tablas

Tabla 1. Sistemas, subsistemas y componentes GB01.....	41
Tabla 2. Fallas funcionales y modos de falla sistema de controles e instrumentación	51
Tabla 3. Fallas funcionales y modos de falla sistema de aceleración de granalla.....	52
Tabla 4. Fallas funcionales y modos de falla sistema de circulación y limpieza de granalla.....	53
Tabla 5. Fallas funcionales y modos de falla sistema de extracción de polvo	53
Tabla 6. Fallas funcionales y modos de falla sistema de transporte de piezas.....	54
Tabla 7. Fallas funcionales y modos de falla cabina de granallado.....	54
Tabla 8. Tareas de mantenimiento GB01.....	77
Tabla 9. Instructivo de operación y limpieza GB01.....	81
Tabla 10. Plan de formación y entrenamiento GB01	81

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1. INTRODUCCIÓN

Generalidades

Las áreas de mantenimiento en las empresas se han convertido en un gran contribuyente a los resultados de las compañías. Una buena implementación y gestión de mantenimiento impacta en la simplificación de procesos y la reducción de costos del producto. La búsqueda de la confiabilidad y disponibilidad de equipos ha generado que sea ampliamente estudiada por expertos en el tema.

Es así como Bonem, buscando siempre competir con el mercado actual de la industria automotriz y de herramientas agrícolas, se ve en la necesidad de optimizar y mejorar cada área de la compañía, en este caso con nuevos métodos de trabajo que impacten en el mantenimiento de las máquinas que interactúan en cada proceso.

Partiendo de la falta de disponibilidad y confiabilidad por motivos de averías en el proceso de granallado de la planta Agrícola en la empresa Bonem, se trabajará en la implementación de la estrategia de mantenimiento RCM (*Reliability Centred Maintenance, Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad*) en dicho proceso, el cual es nuevo en la compañía, y desde su inicio en Enero de 2018 ha generado múltiples pérdidas por paros de producción.

Actualmente la compañía no tiene establecido un método para la construcción de planes de mantenimiento en las máquinas, dependiendo así, de la experiencia de los técnicos más antiguos en el momento de intervenir los quipos, y siendo estas ejecuciones poco confiables ya que las fallas y averías son constantes, puesto que no hay un programa de prevención establecido en el proceso de granallado, y las intervenciones por parte de mantenimiento se realizan solo para corregir.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Objetivos

General

Implementar la metodología RCM para el plan de mantenimiento del proceso de granallado de la planta de producción agrícola de la empresa Bonem.

Específicos

- Diseñar los indicadores de mantenimiento centrados en RCM.
- Recopilar y estandarizar la información técnica de sistemas, subsistemas y componentes del equipo.
- Determinar y analizar las posibilidades de falla del equipo.
- Diseñar las medidas preventivas para evitar fallas, basado en la metodología RCM.
- Categorizar las medidas preventivas a realizar en el equipo, basado en la metodología RCM.
- Elaborar documentos las medidas preventivas y las posibilidades de mejora generadas con la implementación de la metodología RCM.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Organización de la tesis

El presente proyecto se desarrollara de la siguiente manera:

En el primer parte encontraremos el marco teórico, donde se realizará una consulta organizada de los temas involucrados con el proyecto. Se hablará del mantenimiento desde su origen, explicando los diferentes tipos y las principales metodologías de este campo que se aplican en la industria. Esta parte incluirá algunas teorías que sustentan el proyecto como los conceptos de RCM, ventajas y desventajas de su implementación, y finalmente hace una breve explicación de la empresa Bonem, su proceso de granallado y la integración de la metodología con los planes de mantenimiento actuales.

La segunda parte del documento explica la metodología utilizada y toda la información relacionada de cómo se desarrolla la implementación. Se hace una explicación de la norma internacional SAE JA 1012 que estableció unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de falla pueda ser llamado RCM” (Garcia, 2010). En esta sección se analizarán los datos que muestran la poca confiabilidad del proceso de granallado siendo un cuello de botella en la línea de producción.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2. MARCO TEÓRICO

En esta sección se hará una descripción de los temas involucrados en este trabajo. Se hará un recuento de la historia del mantenimiento en general, conceptos claves y explicaremos la metodología RCM, realizando una breve descripción de cada uno de los pasos. También resaltaremos las ventajas y desventajas de RCM respecto a otras metodologías de mantenimiento.

Por último, se explicará el proceso de Granallado, se detallará como se llevan a cabo las labores mantenimiento actualmente en la empresa Bonem, y como se integrará la metodología RCM en el área de mantenimiento.

El mantenimiento y su origen

El mantenimiento es conocido normalmente como un conjunto de acciones que buscan conservar un objeto, para que cumpla con las funciones de forma correcta para la cual fue creado.

Pero lo anteriormente descrito es solo la definición de un término, ya que el mantenimiento es un campo de la industria, el cual involucra estudios, análisis y metodologías, y que finalmente impacta a todo con lo que las personas tenemos interacción.

Es así como (Souris, 1992) lo define como “la función encargada de asegurar la disponibilidad de los equipos productivos mediante la ponderación de las imperfecciones del patrimonio tecnológico invertido, que tiene en cuenta los objetivos de la empresa, y se puede llevar a cabo en el marco de un gasto materializado por un presupuesto, o en relación con una determinada actividad industrial.”

Las acciones de mantenimiento según su significado nacen desde que el ser humano usaba herramientas para su supervivencia, afilando piedras y ajustando todos sus objetos para que cumplieran su necesidad.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Pero Industrialmente, el termino mantenimiento aparece a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, después de la invención de la máquina de vapor; invento que apporto al desarrollo de las industrias del hierro y el carbón. En este periodo de revolución industrial nacen las primeras máquinas, y por consiguiente las primeras reparaciones.

Por lo cual (Nieto, 2009) concluye que “la historia del mantenimiento va de la mano con el desarrollo técnico-industria, ya que con las primeras máquinas se empezó a tener la necesidad del inicio de sus reparaciones. La mayoría de las fallas que se presentaban en ese entonces eran el resultado del abuso o de los grandes esfuerzos a los que eran sometidas las máquinas.” Según lo mencionado, la ejecución de estas reparaciones fue el inicio del mantenimiento, y estas reparaciones es lo que actualmente conocemos como mantenimiento correctivo.

Durante la segunda guerra mundial, importantes industrias se ven en la necesidad de evitar una serie de fallos buscando fiabilidad en sus equipos durante su funcionamiento. Un ejemplo de esto fue la industria de la aviación, con la cual apareció el concepto de mantenimiento preventivo.

(Molina, 2006) Habla que “este mantenimiento consiste en la inspección de los aviones antes de cada vuelo y en el cambio de algunos componentes en función del número de horas de funcionamiento.”

A partir de esto empiezan a aparecer ingenierías especializadas, como la Ingeniería eléctrica, mecánica, aeronáutica, química, etc., y se empiezan a desarrollar nuevos conceptos de mantenimiento, entre los cuales (Duque, 1998) hace referencia a la aparición del “mantenimiento productivo (1954) y mantenimiento productivo total en la década de los 70’s.”

Es así como el mantenimiento ha ido evolucionando a través de los años, partiendo de las necesidades productivas de la industria, y desde el año “1950 se empezó a tener conciencia de que las máquinas debían mantenerse en condiciones óptimas para satisfacer al usuario al momento de fabricar sus productos” (Villanueva, 2014).

En la ilustración 1 se presenta un esquema de la evolución histórica del enfoque del mantenimiento:

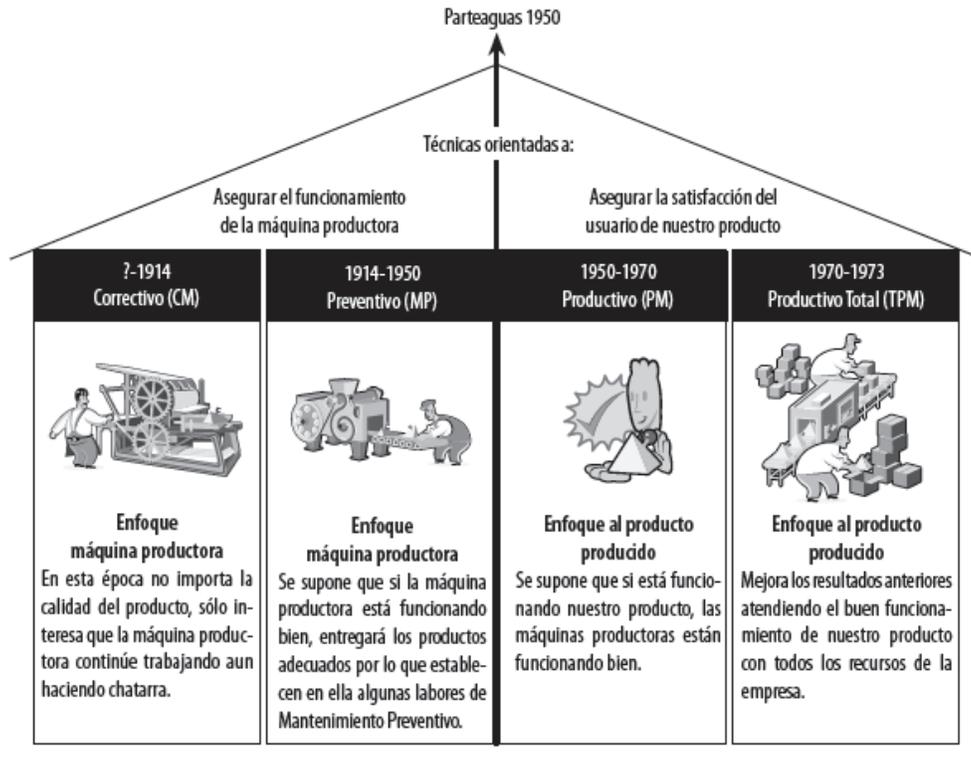


Ilustración 1. Evolución del Mantenimiento (Villanueva, 2014)

Actualmente y desde los últimos años, el mantenimiento se preocupa principalmente por la fiabilidad, buscando siempre la disponibilidad de las máquinas, evitando todo tipo de fallas y cada vez aumentan las exigencias y el enfoque en los aspectos que deben garantizar el mantenimiento.

Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es la intervención en una máquina o equipo, por parte del ser humano, debido al paro o la interrupción de las condiciones básicas de operación de la máquina y el no cumplimiento de su función, suceso que se da por una falla en alguno de sus componentes.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Este tipo de mantenimiento es perjudicial para los objetivos de las empresas, ya que retrasan la producción y en ocasiones la paralizan, por lo cual las áreas de mantenimiento siempre están en la búsqueda de minimizar al máximo este mantenimiento correctivo.

(Duque, 1998) Afirma que “es imposible la eliminación total de este tipo de mantenimiento y para minimizarlo, el administrador de mantenimiento debe direccionarse hacia la planeación del mantenimiento correctivo, es decir, tener un plan de actividades a realizar con personas, repuestos, herramientas, de tal forma que se optimice el tiempo y costo de estas reparaciones”.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es un conjunto de tareas realizadas en una máquina o equipo, previamente analizadas y planeadas, con el objetivo de prevenir o evitar la ocurrencia de fallas durante el funcionamiento. Estas tareas deben involucrar todos los sistemas del equipo y deben ser frecuentes dependiendo de los estudios realizados al comportamiento de la máquina. También debe tener establecido una cantidad de recursos como personas, repuestos, herramientas, tiempos de ejecución entre otros.

En una investigación realizada en la Universidad Autónoma de Nuevo de León, (Rendon, 1997) nos comparte en una imagen las actividades que incluye el mantenimiento preventivo “con las cuales se busca sumado a prevenir las fallas, prolongar la vida útil de un equipo y sus componentes”.

En la ilustración 2 se presenta el esquema de esas actividades.

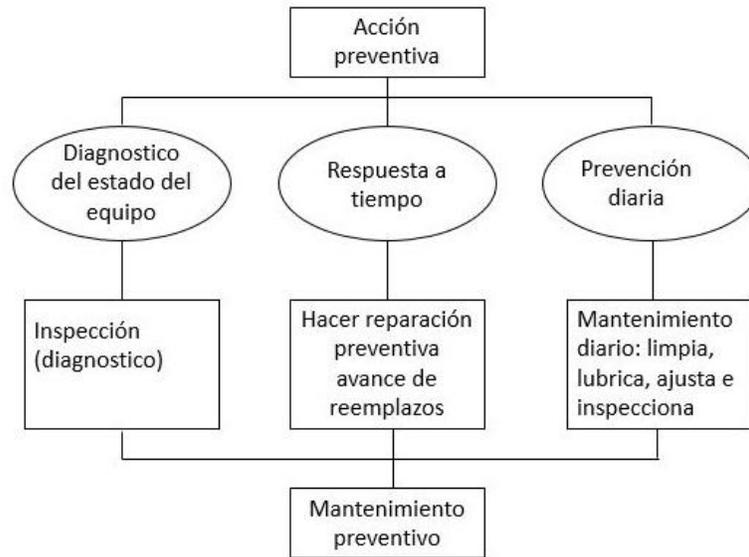


Ilustración 2. Actividades básicas del mantenimiento preventivo (Rendon, 1997)

Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es aquel en el que las acciones a realizar se basan en la medición, y el seguimiento de las variables físicas de los equipos, en las cuales se van presentando variaciones y desgastes con respecto al uso. La detección de estos desgastes ayuda a predecir componentes próximos a fallar, lo cual se puede planear en el mantenimiento preventivo.

“Un satisfactorio sistema que esté funcionando bajo estas mediciones, nos está informando a través de sus sistemas cerrados (temperatura, presión, tensión eléctrica, entre otras), el grado de desviación respecto al óptimo. (Villanueva, 2014)”.

Entre las acciones realizadas en este mantenimiento están las termografías, análisis de vibraciones, análisis de fluidos, medición o inspección de fugas hidráulicas, de aire, gaseosas, mediciones de variables eléctricas, entre otras.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Metodologías y tácticas de mantenimiento

Las metodologías de mantenimiento son un conjunto de técnicas creadas para ejecutar y administrar las labores de mantenimiento en un proceso o una compañía, las cuales se aplican de una forma organizada, coherente y sistémica. La implementación de estas técnicas busca brindar eficiencia a los programas de mantenimiento aplicando múltiples herramientas y utilizando indicadores para tener procesos más controlados. “Entre las metodologías de mantenimiento sobresalen TPM, RCM, PMO, y entre las tácticas encontramos mantenimiento proactivo, mantenimiento reactivo, entre otras” (Mora, 2009).

Mantenimiento proactivo

Esta táctica está basada en la realización de mantenimientos predictivos. Se enfoca en el diagnóstico de los componentes para predecir la vida útil de estos y aprovecharla al máximo.

El mantenimiento proactivo busca la detección temprana de fallas, haciendo un rastreo a los posibles cambios en los parámetros, que pueden ocasionar paros en las máquinas. Esos cambios de los parámetros generalmente se dan por desgastes de los componentes, por tal razón una pretensión importante de esta técnica es llegar al motivo de los deterioros. “El objetivo del Mantenimiento Proactivo es extender la vida de la maquinaria. Una vez que se han identificado la causa raíz que genera el desgaste, se debe eliminar ya que, para extender la vida en servicio de los componentes, se deben mantener los parámetros de causa de falla dentro de límites aceptables” (Altmann, 2005).

Este método de mantenimiento no cobija la corrección de las fallas o defectos de las máquinas, solo está enfocado al análisis y eliminación de los factores que las causan, por lo cual es una metodología que depende de otros lineamientos de mantenimiento, para poder funcionar y dar buenos resultados a las compañías.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Mantenimiento reactivo

El mantenimiento reactivo es una técnica en la cual solo se realiza mantenimiento correctivo, es decir, se basa en intervenir las máquinas solo cuando estas fallan. Esta metodología se aplica en organizaciones en las cuales sus equipos están diseñados para funcionar por determinados periodos de tiempos, y que están en constantes cambios de tecnologías o áreas de negocio. “Las empresas que utilizan esta metodología, se ven obligadas a desarrollar competencias y habilidades que le permitan intervenir de manera oportuna las necesidades de mantenimiento” (Idhammar, 2006).

Optimización del mantenimiento preventivo (PMO)

La optimización del mantenimiento preventivo es una metodología que revisa detalladamente los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los equipos en operación. Por esto es un método el cual requiere previamente de un plan de mantenimiento consolidado para su efectiva aplicación. La teoría básica del PMO parte del análisis del Ciclo Reactivo del mantenimiento, conocido como círculo vicioso (Turner, 2002).

La ilustración 3 presenta el círculo vicioso del ciclo reactivo del mantenimiento.



Ilustración 3. Ciclo vicioso del mantenimiento reactivo (Turner, 2002)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

El PMO es un método altamente eficaz cuando una planta está bajo control, también cuando los equipos tienen numerosos modos de falla pero la gran mayoría suceden al azar, son instantáneos y no tienen consecuencias altas; según (Turner, 2002) recomienda que las estrategias de mantenimiento se tomen basadas en esta metodología, cuando las plantas estén en funcionamiento, ya que es el medio para racionalizar todo el mantenimiento preventivo y así asegurar que existe valor agregado y es costo efectivo para la organización.

Mantenimiento productivo total (TPM)

El TPM es una metodología de gestión empresarial que busca identificar y eliminar las pérdidas en los procesos productivos, brindando con su implementación ser más eficientes. Está basado en 8 pilares que son fundamentales, cada uno de ellos consta de unos pasos para lograr los objetivos de la metodología. (Suzuki, 1995) Describe los 8 pilares fundamentales:

- Mejoras enfocadas
- Mantenimiento Autónomo
- Mantenimiento Planeado
- Capacitación y Entrenamiento
- Mantenimiento de la calidad
- Control Inicial
- TPM administrativo
- Seguridad y medio ambiente

El TPM se implementa cuando las organizaciones están en la búsqueda no solo de mejorar las áreas de mantenimiento, sino también las plantas de producción e instalaciones de todo tipo, haciéndolas más confiables, continuas y seguras.

“El TPM es en la actualidad uno de los sistemas fundamentales para lograr la eficiencia total, en base a la cual es factible alcanzar la competitividad total” (Lefcovich, 2009) .

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Es muy importante resaltar que esta metodología involucra a toda el área de operaciones, esto quiere decir que ningún gerente de mantenimiento solo con su área puede pensar que va a implementar TPM.

Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad (RCM)

RCM es una metodología de mantenimiento en la cual se busca garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas de un proceso, eliminando las fallas y reduciendo los costos de mantenimiento. “El termino mantenimiento centrado en fiabilidad se refiere a un programa de mantenimiento diseñado para desarrollar las capacidades de confiabilidad inherente de los equipos” (Nowlan & Heap, 1978) .

La filosofía RCM se fundamenta en identificar los componentes de un sistema clasificando su criticidad y evaluando la función y el estado de cada componente.

El RCM implica hacer 7 preguntas sobre el activo o sistema bajo revisión, de la siguiente manera (Moubray, 1992):

- ¿Cuáles son las funciones?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué causa que falle?
- ¿Qué sucede cuando falla?
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?
- ¿Que sucede si no puede prevenirse la falla?

La metodología se ha implementado siguiendo unos pasos sugeridos por expertos en cada uno de los sistemas, empezando en la fase 0 la cual identifica y codifica cada sistema y componente con toda su información técnica, y culmina con la fase 7 en la cual se ponen en marcha las medidas preventivas adoptadas en la implementación.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Metodología RCM

Historia del RCM

El RCM tiene su origen en la industria de la aviación civil norteamericana a principios del año 1960, debido a que años atrás se venían presentando un alto número de accidentes, la mayoría de estos por fallas en los equipos. A partir de esto la compañía United Airlines se esfuerza creando Grupos de Dirección de Mantenimiento (Maintenance Steering Groups - MSG) para encontrar una técnica que finalmente se materializó en un documento titulado: “Manual para la evaluación de mantenimiento y desarrollo de programas, conocido generalmente como MSG-1, el cual fue utilizado por equipos especiales de la industria y el personal de la FAA (Federal Aviation Administration) para desarrollar un programa inicial para el Boeing 747” (Nowlan & Heap, 1978).

El MSG-1 tuvo unas mejoras y nace el MSG-2 (Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas), pero las autoridades de transporte aéreo de los Estados Unidos de América querían desarrollos adicionales al MSG-2. Dicha petición llevó a 2 Ingenieros de la United Airlines a elaborar un reporte titulado “Reliability Centered Maintenance” (Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad), el cual fue publicado como libro en 1978. Este reporte fue la base del MSG-3 el cual “ha sido revisado tres veces, la primera vez en 1988, de nuevo en 1993, y la tercera en 2001” (Reliabilityweb.com, 2020).

Con el tiempo muchos procesos llamados RCM difieren de las pautas planteadas por el RCM original (Nowlan & Heap, 1978), “por este motivo en 1999 y 2002 surgieron respectivamente la Norma SAE JA 1011 y la Norma SAE JA 1012, dos normas internacionales que establecieron unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de falla pueda ser llamado RCM” (García, 2010).

Conceptos de RCM

EL Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es una metodología que se implementa para la elaboración de un plan de mantenimiento en un proceso industrial. El RCM se basa

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

en el análisis de las fallas, tanto de las que han ocurrido y las fallas de cada sistema o componente que posiblemente pueden suceder. Según (Nowlan & Heap, 1978) es fundamental plantearse preguntas que a menudo se dan por sentado:

¿Cómo ocurre una falla?

¿Cuáles son las consecuencias?

¿Qué puede hacer el mantenimiento preventivo?

Uno de los principales inconvenientes que existían en mantenimiento es que es muy difícil determinar cuándo es posible que una pieza falle. Para esto se pueden establecer inspecciones y programación de cambios de piezas, pero algunos componentes generarían un aumento de costos en un proceso. EL RCM tiene entre sus principales objetivos confiabilidad, disponibilidad de los equipos y la reducción de costos de mantenimiento, se implementa para obtener los siguientes resultados (Garcia, 2010):

- Mejorar la comprensión del funcionamiento de los equipos y sus sistemas.
- Analizar todas las posibilidades de fallo y desarrollar mecanismos que traten de evitarlos.
- Determinar una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.

En esta metodología es fundamental conocer el contexto operacional del activo o componente, función, fallas funcionales, modos de falla, consecuencias de la falla, para finalmente determinar las acciones adecuadas para eliminar las probabilidades de falla.

Fases del RCM

El proceso de implementación del RCM consta de una serie de fases aplicadas a cada sistema o componente bajo análisis, las cuales describe(Garcia, 2010) :

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Fase 0: Codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.

Fase 1: Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Listado de funciones del sistema en su conjunto. Listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.

Fase 2: Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos.

Fase 3: Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.

Fase 4: Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias.

Fase 5: Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.

Fase 6: Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento.

Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas.

Ventajas del RCM

La metodología RCM ofrece varias ventajas al implementarla en el área de mantenimiento de las compañías, aportando confiabilidad de sus equipos en las plantas de producción, y la disminución de costos por mantenimiento correctivo, lo cual brinda tranquilidad a la economía de una organización. Otro gran beneficio es que la implementación es rentable y sus resultados se pueden analizar y beneficiar a toda la planta en general. Para (Moubray, 1992) “la principal ventaja de esta metodología es que la

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

inversión solo se realiza donde produce rendimientos rápidos y medibles, ya que el RCM solo se aplica a ciertos equipos o componentes, siendo menos costoso y por lo tanto más fácil de administrar que si se implementara otro método para una planta completa.”

A parte de esto al realizar un plan de mantenimiento basado en RCM se tiene:

- Mejoras en la seguridad de los equipos
- Mejoras en el impacto ambiental
- Aumento de productividad
- Equipos y procesos confiables y disponibles
- Aumento en el conocimiento de los equipos
- Se elimina la dependencia de fabricantes o servicio técnico externo.

El RCM también está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones (www.rcm-confiabilidad.com., 2005).

En el siguiente cuadro se describe los beneficios en base a varios criterios (Mora, 2009) :

Calidad	Tipo de servicio	Costo	Tiempo	Riesgo
<p>Aumenta la disponibilidad en al menos un 8%, por el sólo hecho de implementar.</p> <p>Elimina las fallas crónicas y elimina las causas raíces.</p> <p>Aumenta la flexibilidad operacional.</p> <p>Las programación de mantenimiento se basa en hechos reales.</p> <p>Proporciona el completo conocimiento de las fallas reales y potenciales de las máquinas, 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 en un 40%.</p> <p>Optimiza los programas 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% 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 mas seguras.</p>

Ilustración 4. Beneficios del RCM (Mora, 2009)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Desventajas del RCM

Como todas las metodologías, el RCM tiene sus falencias y no es perfecta. Uno de los inconvenientes que posee esta metodología, es que depende mucho de los técnicos más experimentados del área de mantenimiento y que tengan gran conocimiento del sistema analizado, es decir, se requiere que las personas conozcan muy bien el funcionamiento de las máquinas y sus componentes, los análisis no se pueden llevar a cabo por cualquier técnico de mantenimiento. Para (Moubray, 1992) “la principal desventaja del mantenimiento centrado en confiabilidad es que pone mucho más énfasis en el rendimiento técnico y operativo del equipo, que, en las personas, de quienes el equipo depende en última instancia a largo plazo (los operadores y mantenedores).”

Otro inconveniente de esta metodología es que en algunos procesos o instalaciones donde se va a implementar, por la gran cantidad de equipos o componentes no se hace un análisis a todos estos; se hace una selección de equipos denominados críticos, y se trata de asegurar que estos no fallen. “El estudio de fallos de cada uno de los equipos se hace con un grado de profundidad tan elevado que por cada equipo se identifican cientos (sino miles) de modos de fallo potenciales, y para el estudio de cada equipo crítico se emplean meses, incluso años” (RCM3, 2016).

Bonem S.A.

Bonem es una organización dedicada a la fabricación y comercialización de productos para los sectores de autopartes y maquinaria agrícola. La empresa situada en la ciudad de Medellín tiene su origen en el año 1964 en la sociedad Ingersoll Apolo S.A. y en 1985 cambia su razón social pasando a integral el grupo empresarial Chaid Neme, actualmente Grupo a.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Ilustración 5. Interior y exterior de Bonem (Bonem S.A., 2020)

Los productos de Bonem están agrupados en dos líneas: línea automotriz (actuadores de embragues, bombas de agua, cables de embrague, correas micro V, embragues y kits de distribución) y línea agrícola (discos, herramientas y chumaceras).

En la línea automotriz Bonem es proveedor de equipo original para las ensambladoras de vehículos del país y del exterior, y para el mercado de repuestos a través de una amplia red de distribuidores.

La línea agrícola de Bonem produce discos para arados y rastras fabricados en acero al boro. La línea de herramientas incluye las cuchillas de corte para cosechadoras de caña y otros repuestos para estas máquinas, también se fabrican herramientas para la labranza de la tierra. Las chumaceras para rastras se ofrecen en grasa o aceite (Bonem S.A., 2020).

En la ilustración 6 se presenta una imagen de los diferentes productos que produce Bonem.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Ilustración 6. Productos de Bonem (Bonem S.A., 2020)

La empresa Bonem pertenece a la industria metalmeccánica y cuenta con 2 plantas de producción, cada una de ellas con una gran variedad de maquinaria industrial como Tornos CNC, Troqueladoras, Prensas hidráulicas, Fresadoras, Hornos, tanques de temple, y una Granalladora.

Entre sus políticas Bonem se enfoca en el mejoramiento continuo de todos sus procesos para ser competitiva en el mercado.

Proceso de granallado

En la industria es cada vez más necesario el cumplimiento de estándares de calidad, para obtener productos competitivos en el mercado. En las empresas donde se realiza la transformación del metal, el proceso de granallado es aplicado en muchas plantas de producción, con el objetivo de limpiar de una manera correcta la superficie de los productos y brindar acabados perfectos a estos. Pero no solo en la industria metalmeccánica se utiliza el granallado, también se obtienen excelentes acabados en las piezas de otros materiales. (Cym materiales S.A., s.f.) Describe el proceso de granallado como “una técnica de tratamiento superficial por impacto, con el cual se puede lograr un excelente grado de

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

limpieza y simultáneamente una correcta terminación superficial en una amplia gama de piezas metálicas y no metálicas.”

En la ilustración 7 se una pieza después de pasar por el proceso de granallado.



Ilustración 7. Pieza granallada (Surfat S.A., 2013)

El proceso de granallado consiste en someter una pieza a un chorro a alta presión de un abrasivo que puede tener diferentes granulometrías, durezas y materiales conocido como granalla. Esta granalla a alta presión se aplica por medio de una máquina llamada Granalladora, lo cual hace posible excelentes resultados en procesos como remoción de calamina de metal y preparación de superficies para pinturas.

En la empresa Bonem el proceso de granallado es utilizado para la limpieza de las herramientas y discos agrícolas, que están fabricados en acero de medio carbono; por tal motivo la granalla es de granos de acero en forma de esferas. Estos productos previamente pasan por unos tratamientos térmicos que generan una capa de calamina aceitada, la cual se debe remover para después de granallados, pasar por un proceso de pintura.

Granalladora

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Una Granalladora es una máquina industrial, encargada de realizar el proceso de granallado. Con esta máquina se busca obtener alta calidad de limpieza superficial del producto en líneas de elevada producción, que después entraran a procesos de revestimientos como por ejemplo pintura. Estas máquinas pueden ser de modo manual o automática, y su sistema de aplicación de granalla se da por aire comprimido o turbina centrífuga. Este sistema de aplicación también es conocido como sistema de aceleración de granalla y hace parte de la máquina junto con otros 5 sistemas (Cym materiales S.A., s.f.):

1. Sistema de aceleración de la granalla.
2. Sistema de circulación y limpieza de la granalla.
3. Sistema colector de polvos.
4. Cabina.
5. Sistema de movimiento o sostén de las piezas a granallar.
6. Controles e instrumentación.



Ilustración 8. Granalladora GB01 Bonem (Fuente propia)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

La granalladora que emplea la empresa Bonem es automática y utiliza un sistema de aceleración de granalla por turbinas centrifugas. Su sistema de movimiento de piezas es de banda metálica.

Planes de mantenimiento en Bonem

Actualmente la empresa Bonem levanta sus planes de mantenimiento basándose en la experticia y el conocimiento del personal del área de mantenimiento, con la ayuda de los manuales suministrados por los fabricantes de las máquinas; pero no hay una guía o procedimiento establecido para levantar dichos planes. La Granalladora GB01, tiene hoy en día una inspección mensual del colector de polvo, la cual está programada en la ERP SAP, software empresarial para la administración de todos los procesos en la organización. Pero esta máquina no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo que brinde la confiabilidad y disponibilidad que la compañía requiere.

Basados en la metodología RCM se levantará el plan de mantenimiento para la Granalladora GB01, y se utilizara SAP para almacenar la información recolectada y las decisiones tomadas para el desarrollo de las acciones preventivas que se tendrán como resultado. La implementación de RCM en el proceso de granallado de Bonem, creara un nuevo plan de mantenimiento para la compañía, el cual quedara registrado y programado en SAP.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3. METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo está realizado bajo una metodología mixta, el cual se basa en estudios cuantitativos y cualitativos. “En el desarrollo de una investigación no es conveniente cerrarnos en una sola metodología sea cuantitativa o cualitativa. Se obtendrán mejores resultados si se mezclan los atributos de ambos métodos, lo que lleva a atender mejor los problemas de la investigación.” (Cook & Reichardt, 1986).

Para la elaboración de este proyecto se ha necesitado de los datos de las plantas de producción de la empresa Bonem, donde está registrado cada paro de los procesos productivos. También se incluyeron algunos trabajos realizados por los técnicos de mantenimiento en el proceso de granallado. Después de tener una medición y un enfoque de los problemas de la granalladora, se establecieron los pasos del RCM. Todo el desarrollo de la metodología RCM cumpliendo con los criterios y claves de las normas SAE JA1011 y SAE JA1012

En la ilustración 9 se presenta un esquema de los pasos que se tuvieron en cuenta para llevar a cabo la implementación del RCM en el proceso de granallado de la empresa Bonem.

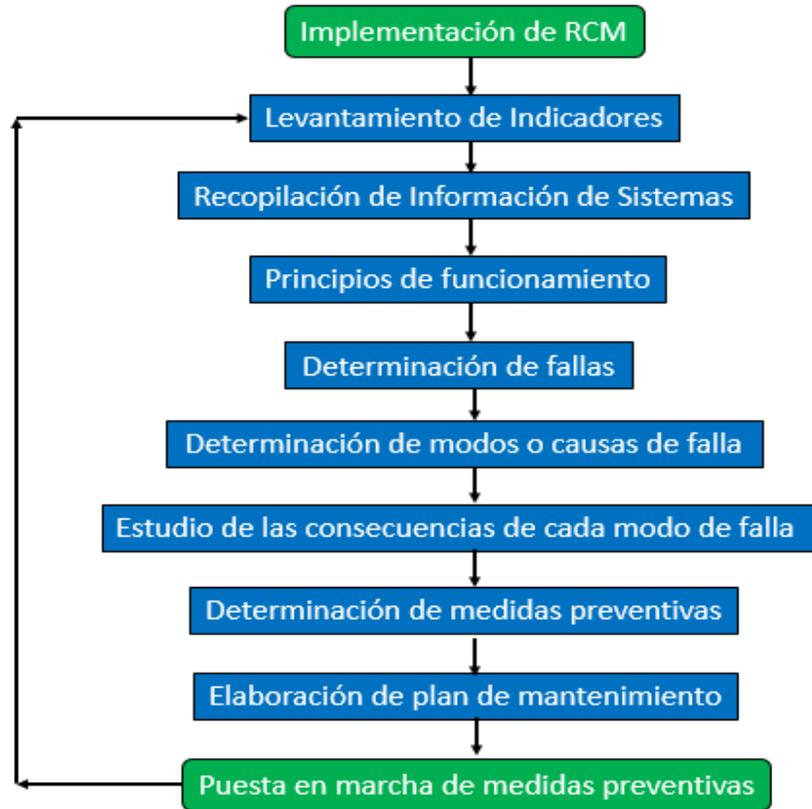


Ilustración 9. Pasos para la implementación del RCM

Levantamiento de indicadores

Por medio de una base de datos, el coordinador de la planta agrícola de Bonem S.A., registra todas las averías de los equipos de la planta. Estas averías también llamadas mantenimientos correctivos, están especificadas por fecha, máquina, planta, tiempo de mantenimiento correctivo, y problema detectado por el operario.

En la ilustración 10 se observa un segmento de la base de datos del año 2018.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

CORRECTIVOS PLANTAS 2018									
FECHA	Mes	Año	LÍNEA	PLANTA	EQUIPO	TIEMPO PROGRAMDO DEL EQUIPO	TIEMPO TOTAL PARADA (Horas)	TIEMPO QUE AFECTA LA PRODUCTIVIDAD (Horas)	SINTOMA/FA
18/06/2018	junio	2018		AGRICOLA	ho01	16	5	5	corto en monitor
20/06/2018	junio	2018		AGRICOLA	GB01	14	3,5	3,5	se daña elevador
21/06/2018	junio	2018		AGRICOLA	GB01	14	2	2	mallá frenada
22/06/2018	junio	2018		AGRICOLA	H001	16	1	1	no prenden quemadores laterales derecho:
22/06/2018	junio	2018		AGRICOLA	GB01	14	0,66	0,66	mallá frenada
22/06/2018	junio	2018		AGRICOLA	H002	16	2	2	no prende
22/06/2018	junio	2018		AGRICOLA	GB01	14	0,75	0,75	mallá frenada
23/06/2018	junio	2018		AGRICOLA	ci02	8	1,16	1,16	daño de refrigeracion
25/06/2018	junio	2018		AGRICOLA	ci02	8	0,5	0,5	cambio de fusibles
26/06/2018	junio	2018		AGRICOLA	FR07	16	2,5	2,5	topes de la mesa no apretan
26/06/2018	junio	2018		AGRICOLA	GB01	14	0,5	0,5	mallá frenada

Ilustración 10. Base de datos mantenimientos correctivos (Bonem, 2018)

En base al historial de los datos reportados por producción, se construyeron algunas de las gráficas de los indicadores de averías. Las otras graficas se seguirán construyendo mediante los datos reportados por las reparaciones realizadas a estas averías por el personal de mantenimiento. Los siguientes son los indicadores propuestos en este trabajo:

- Número de averías total compañía.
- Número de averías por planta.
- Número de averías por máquina.
- Número de averías por sistema.
- Pareto de averías total compañía.
- Pareto de averías sistemas de máquina.

Desarrollo de las fases del RCM

Fase 0: En esta fase se hace un listado los sistemas, subsistemas y componentes que integran la Granalladora. A cada uno de ellos se le realiza una codificación. También se hace la recopilación de los planos eléctricos y mecánicos de la máquina, los manuales y datos técnicos que sirven como material de entrenamiento para los técnicos de mantenimiento a partir de la implementación.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Fase 1: En la fase 1 se explica textual y gráficamente los principios de funcionamiento de cada sistema. También se identifican los componentes más claves de cada uno. Se hace un listado de las funciones de cada sistema. Esta fase se realiza cumpliendo con los criterios de la norma SAE JA1012 capítulo 6.

Fase 2: En esta fase cumpliendo la norma SAE JA1012 capítulo 7, se analiza de qué maneras puede fallar un sistema al cumplir sus funciones. Así se determinan las fallas funcionales de cada uno de ellos.

Fase 3: “Se deben identificar los modos de falla probables que puedan causar cada falla funcional”. (SAE JA1012, 2002). Cada falla funcional desglosa varios modos de falla. La descripción de estos modos de falla contiene un pronombre y un verbo. El planteamiento de los modos de falla se realiza basados en la norma SAE JA1012 capítulo 8.

Fase 4: En esta fase se hace un estudio de los efectos y las consecuencias del modo de falla. Se planteará que puede pasar si ocurre el modo de falla, y también se analiza cómo y cuánto afecta el modo de falla. Los modos de falla se categorizan según las consecuencias en la seguridad, consecuencias ambientales, consecuencias operacionales y consecuencias no operacionales. A partir de estas consecuencias se clasifican los modos de falla en críticos, importantes y tolerables. Esta fase se realiza cumpliendo con los criterios de la norma SAE JA1012 capítulos 9 y 10.

Fase 5: En la fase 5 se plantean las medidas preventivas que se deben realizar después de tener definidos los modos de falla y las consecuencias de estos. Estas medidas deben evitar el modo de falla o minimizar los efectos. Se proponen entre las medidas preventivas tareas mantenimiento de diferentes tipos como inspecciones visuales, lubricación, verificación del correcto funcionamiento de los sistemas, entre otras; Otras medidas que se plantean son las mejoras y modificaciones de los sistemas; la revisión y si es necesario, modificación de los procedimientos de operación; y por último formación al personal de producción y mantenimiento.

Fase 6: En esta fase después de determinar las medidas preventivas del RCM, se agrupan dependiendo de la clase de actividad. Una vez definidos estos grupos se definirán los planes de mantenimiento acuerdo a las tareas establecidas. En estos planes se describen las tareas de mantenimiento y sus frecuencias. También se hace la propuesta a la gerencia de la compañía, de realizar las mejoras y modificaciones establecidas en la fase 5. Esto se lleva a cabo como un proyecto

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

del área de mantenimiento. Otro grupo de medidas preventivas es el de los procedimientos de operación, el cual se debe normalizar como el Instructivo de operación de la Granalladora. Por último se agruparon las actividades que harán parte de la formación a los técnicos y operarios del proceso de granallado.

Fase 7: Una vez toda la implementación del RCM está documentada, se entrega y socializa con la gerencia y las áreas involucradas de la compañía. También se iniciará la programación del plan de mantenimiento en SAP.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Levantamiento de Indicadores

En base a los datos obtenidos en el reporte de las plantas de producción, se construyen los indicadores de averías en los cuales se observa lo siguiente:

La compañía Bonem, tiene un alto número de averías en los últimos años. En la 11 ilustración se puede observar el indicador de número de averías del año 2018 y un promedio de los últimos años.

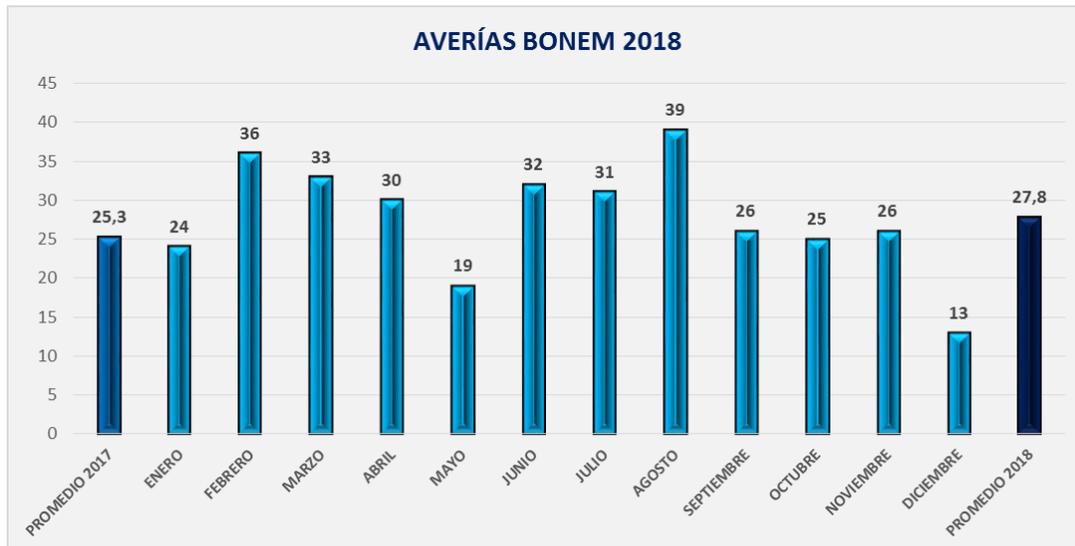


Ilustración 11. Indicador número de averías Bonem 2018

Se agrupan las averías por planta, encontrándose que la planta agrícola suma el mayor número de averías.

En la ilustración 12, vemos el indicador de número de averías de la planta agrícola en el año 2018.

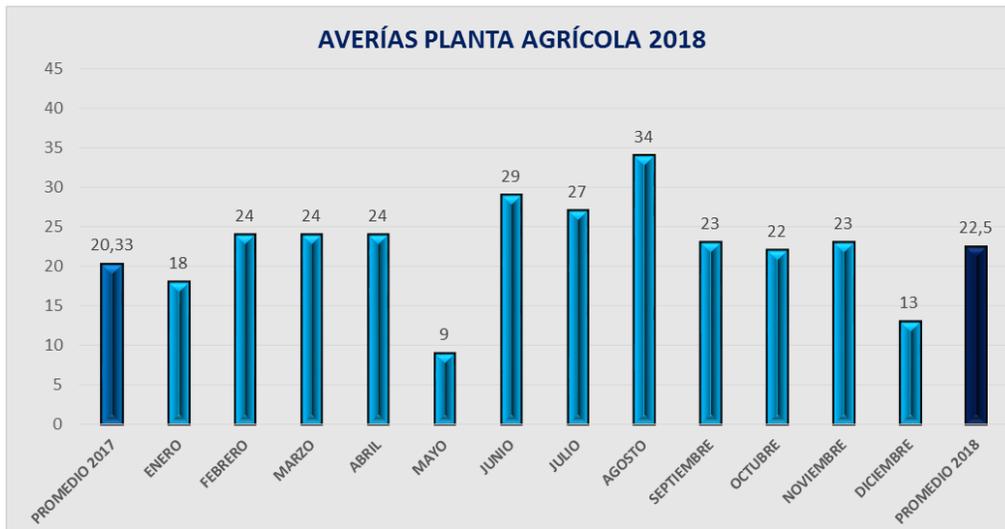


Ilustración 12. Indicador número de averías planta agrícola Bonem 2018.

La ilustración 13, presenta el gráfico del indicador de número de averías de la planta automotriz, el cual muestra unas cifras muy bajas en comparación con la planta agrícola.

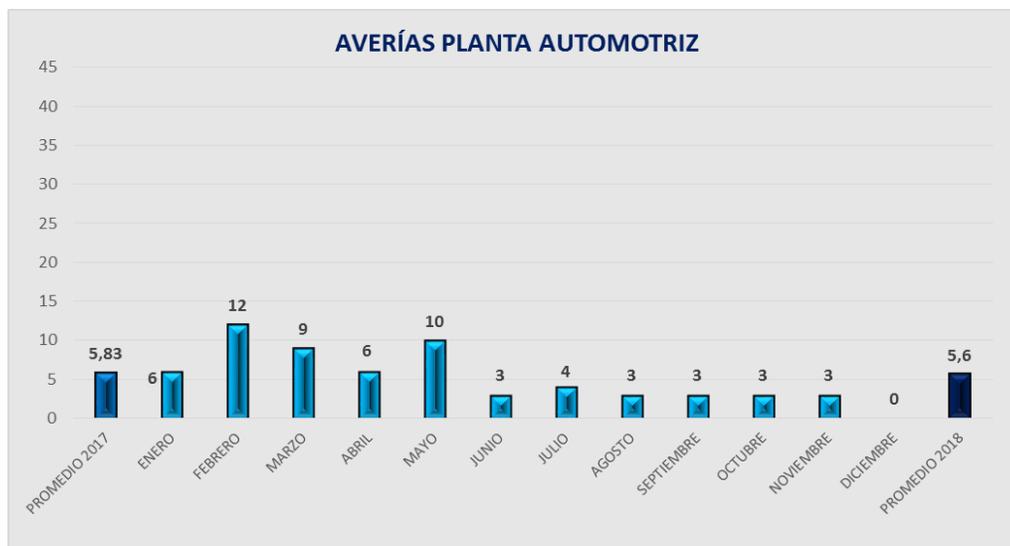


Ilustración 13. Indicador número de averías planta automotriz Bonem 2018

Al analizar cada máquina, se construye un Pareto de averías, el cual indica cuales son las máquinas que más fallan. En los 2 últimos años la Granalladora GB01 es la máquina con más averías.

En la ilustración 13 se observa el Pareto de número de averías desde enero de 2018, hasta agosto 2109.

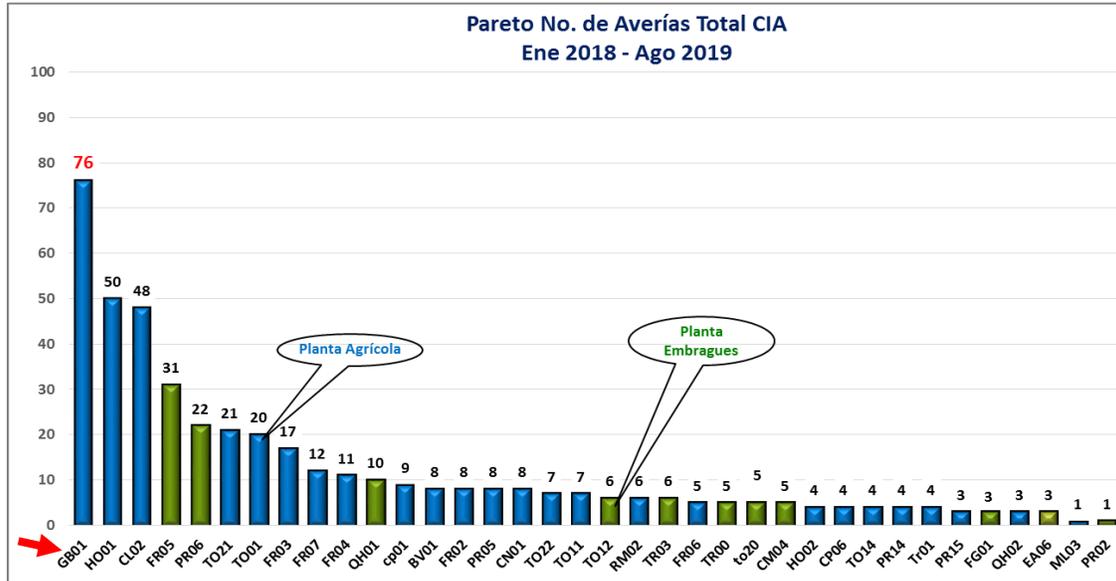


Ilustración 14. Pareto de Averías Bonem 2018-2019

Desarrollo de las fases

Fase 0: Datos técnicos, sistemas, subsistemas y componentes

Especificaciones Técnicas Granalladora GB01:

Máquina de granallado de acero QWD10

Año y país de fabricación: 2017, China

Dimensiones de cabina: 1000 mm x 500 mm

Tipo de granalla: Granalla Acero Esférica S-330 1mm

Velocidad de proceso: 0,5 – 2,5 m/min

Tipo de Turbinas: Q034ZZ

Número de turbinas: 4

Potencia eléctrica motores de turbinas: 7.5 kW c/u.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Caudal de granalla por turbina: 125 Kg/min

Capacidad de levantamiento elevador de cangilones: 40t/h

Potencia eléctrica motor de cangilones: 5,5 kW

Capacidad tornillo transportador longitudinal: 40 t/h

Capacidad tornillo transportador transversal: 40 t/h

Potencia eléctrica motores de tornillos: 2,2 kW c/u.

Capacidad sistema suministro de granalla: 400 Kg/min

Compuertas de suministro= 4

Tamaño de malla: 16500 mm x 1000 mm

Rango de velocidad de movimiento de malla: 0.1 - 8 m/min

Potencia eléctrica motor de malla: 2,2 kW

Capacidad de Extractor: 8800 m³/h

Potencia eléctrica motor de extractor: 11 kW

Caudal sistema neumático: Caudal 0,5 m³/min.

Presión sistema neumático: 0,5 – 0,7 Mpa

En la tabla 1 se clasifican los sistemas, Subsistemas y componentes del proceso de granallado.

GRANALLADORA DE BANDA GB01		
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE
1 - Sistema de controles e instrumentación	1.1 - Control Eléctrico	1.1.1 - Interruptores Térmicos
		1.1.2 - Contactores
		1.1.3 - Relés Electromagnéticos
		1.1.4 - Variador de Velocidad
		1.1.5 - Pulsadores
		1.1.6 - Conductores eléctricos
	1.2 - Circuito Neumático	1.2.1 - Válvulas de suministro
		1.2.2 - Electroválvulas Neumáticas
		1.2.3 - Actuadores Neumáticos
		1.3.4 - Racores

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

		1.3.5 - Unidad de mantenimiento
2 - Sistema de aceleración de granalla	2.1 - Control de suministro de granalla.	2.1.1 - Compuertas
		2.1.2 - Platinas de regulación
		2.1.3 - Medidores de corriente
		2.1.4 - Mangueras de suministro
	2.2 - Turbinas	2.2.1 - Codo alimentador
		2.2.2 - Distribuidor
		2.2.3 - Impulsor
		2.2.4 - Paletas
		2.2.5 - Caja de control
		2.2.6 - Placas protectoras
		2.2.7 - Motor eléctrico
2.2.8 - Correas de transmisión		
2.2.9 - Poleas de transmisión		
3 - Circulación y limpieza de granalla	3.1 - Tornillos transportadores	3.1.1 - Ejes de Tornillo
		3.1.2 - Motor -Reductor
		3.1.3 - Sprockets
		3.1.4 - Cadena de trasmisión
		3.1.5 - Asiento protector
	3.2 - Elevador de cangilones	3.2.1 - Motorreductor cicloidal
		3.2.2 - Ruedas superior e inferior
		3.2.3 - Banda de goma
		3.2.4 - Cangilones
		3.2.5 - Cámara hermética
		3.2.6 - Sprockets
		3.2.7 - Cadenas de transmisión
	3.3 - Separador de Granalla	3.3.1 - Tornillo de cortina
		3.3.2 - Deflectores
		3.3.3 - Tolva
4 - Sistema extracción de polvos	4.1 - Colector de polvo	4.1.1 - Filtros tipo cartucho
		4.1.2 - Tornillos de ajuste
		4.1.3 - Compuerta de tolva
		4.1.4 - Soportes de filtros
	4.2 - Ductos separadores	4.2.1 - Mangueras
		4.2.2 - Tubería
		4.2.3 - Separadores
	4.3 - Soplado	4.3.1 - Electroválvulas
		4.3.2 - Contador de pulsos
		4.3.3 - Cámara de aire
	4.4 - Extractor	4.4.1 - ventilador

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

		4.4.2 - Motor eléctrico
		4.4.3 - Cámara centrífuga
5 - Sistema de transporte de piezas	5.1 - Transmisión de movimiento malla	5.1.1 - Malla
		5.1.2 - Rodillo tractor
		5.1.3 - Motor - reductor
		5.1.4 - Sprockets
		5.1.5 - Cadena de transmisión
	5.2 - Tensores de malla	5.2.1 - Rodillos tensores
		5.2.2 - Chumaceras
6 - Cabina de granallado	6.1 - Estructura de cabina	6.1.1 - Placas de protección internas
		6.1.2 - Tuercas de sujeción
		6.1.3 - Compuerta de inspección

Tabla 1. Sistemas, subsistemas y componentes GB01

Fase 1: Funciones y principios de funcionamiento

Granalladora de banda GB01

Función: Limpiar todas las superficies de los productos de la planta agrícola, eliminando completamente la calamina generada por el temple, transportándolos en la malla entre un rango de velocidad de 0.1 m/min a 8 m/min, desde la entrada hasta la salida de la cabina de granallado, sellando la proyección de partículas en la limpieza y atrapando los polvos contaminantes.

Principio de funcionamiento: El sistema de control al recibir la orden humana en los pulsadores, da encendido a los diferentes sistemas, los cuales en conjunto permiten que las piezas colocadas sobre una malla transportadora circulen al interior de la cabina de granallado, en donde son roseadas por chorros de granalla con alto caudal, provenientes de 4 turbinas. Estas turbinas reciben el suministro del material abrasivo desde 4 compuertas manejadas por actuadores neumáticos, los cuales son controlados por una electroválvula. Después de que la granalla limpia las piezas, cae en la parte inferior del equipo, lugar donde se encuentra un par de tornillos, que, gracias a su forma en espiral, conducen los gránulos abrasivos hacia un elevador. Este elevador recoge la granalla y la dirige hacia un compartimiento ubicado en la parte superior de la máquina, que separa la contaminación por sólidos y polvos, y almacena granalla buena. La granalla almacenada en la tolva queda a la espera de la apertura de las compuertas de suministro.

1. Sistema de controles e instrumentación

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Función: Recibir accionamientos humanos, para procesar, modificar y transmitir los flujos de electricidad y aire comprimido desde sus respectivas fuentes, hacia los elementos electromecánicos, controlando y regulando altos flujos de corriente, convirtiendo la energía eléctrica y neumática recibida, en energía mecánica.

Principio de funcionamiento: A partir de una fuente eléctrica y otra neumática, y al recibir un accionamiento humano a los elementos de mando, se transporta el flujo eléctrico y neumático por medio de conductores como cables y mangueras, hasta elementos que actúan como motores eléctricos y actuadores neumáticos, convirtiendo estas energías en energía mecánica.

1.1 Sistema eléctrico

Función: Transportar, controlar y modificar el voltaje y la corriente desde la fuente eléctrica, por medio de conductores y elementos de control, hasta los motores eléctricos y solenoides de electroválvulas neumáticas, suministrando 220Vac, quienes con esto convierten las energías de entrada en movimientos rotativos y lineales. El sistema eléctrico también debe emitir señales de indicación luminosas y proteger los elementos que hacen parte del circuito contra sobrecargas.

Principio de funcionamiento: Al accionar los elementos de mando como interruptores y pulsadores, se permite el paso de voltaje y corriente eléctrica por los conductores eléctricos y elementos de protección. Estas señales de voltaje y corriente eléctrica llegan a elementos electromecánicos como relés y contactores los cuales se energizan y cambian de estado sus contactos de control, enviando una señal de alimentación eléctrica a los componentes que actúan mecánicamente en la máquina. Estos elementos reciben una alimentación de energía eléctrica, la cual genera campos magnéticos internamente y produce movimientos rotativos y lineales que actúan sobre otros sistemas en la máquina.

1.2 Circuito neumático

Función: Conducir y regular la presión de aire comprimido en un rango de 72 a 110 Psi, desde la válvula principal hasta los actuadores neumáticos, generando con el movimiento de estos la apertura de las compuertas de suministro de granalla. También debe conducir el aire a presión hasta los filtros del colector de polvos.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Principio de funcionamiento: Al abrir la válvula de bola principal de la máquina, aire a presión proveniente del compresor de aire pasa por una unidad de mantenimiento, la cual regula, limpia y conduce el aire por medio de mangueras neumáticas hasta 3 electroválvulas. Estas electroválvulas son excitadas por un voltaje eléctrico, por lo cual 1 electroválvula se conmutan permitiendo el paso de aire comprimido hacia los 4 actuadores neumáticos, que están acoplados a las compuertas de suministro de granalla y las otras 2 electroválvulas también se conmutan para suministrar aire hacia 2 ductos conectados a la parte interna de los filtros del colector de polvo.

2. Sistema de aceleración de granalla.

Función: Conducir la granalla desde la parte inferior de la tolva hasta las turbinas, permitiendo el paso en las compuertas de suministro, y por medio de la rotación de las turbinas direccionar la granalla a una capacidad de 125kg/min hacia las piezas que se encuentran al interior de la cámara de granallado.

Principio de funcionamiento: Las compuertas de suministro están acopladas mecánicamente cada una a un actuador neumático, el cual al accionarse abre o cierra la compuerta permitiendo el paso de granalla hacia la turbina. Esta turbina recibe por medio de 4 correas de transmisión desde un motor eléctrico un movimiento giratorio a altas revoluciones, lo cual ocasiona que sus componentes direccionen a alta velocidad la granalla. En el proceso de giro rápido los alabes o paletas se fijan al impulsor gracias a la fuerza centrífuga generada en la turbina. Los motores son energizados independientes, es decir, hay una estación de mando start - stop y un contactor que suministran 220V trifásicos a cada motor. Para las compuertas de suministro de granalla existe una sola estación start – stop los cuales energizan la electroválvula que acciona los 4 actuadores neumáticos al mismo tiempo.

2.1 Control de suministro de granalla

Función: Abastecer reguladamente las turbinas de granalla, suministrando la cantidad necesaria para la limpieza de productos evitando el exceso y la sobrecarga del motor eléctrico.

Principio de funcionamiento: Al dar la orden de suministro de granalla desde el sistema de control, los actuadores neumáticos abren las compuertas. Cada compuerta contiene internamente una platina con una apertura central, la cual se puede mover lateralmente graduando el paso de

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

granalla. Al abrir la compuerta la granalla pasa por la apertura central, y baja por gravedad por las mangueras plásticas transparentes, las cuales conectan la compuerta de la turbina por lo que permite observar el flujo de granalla hasta allí. Este flujo de granalla se debe graduar dependiendo de la corriente indicada en los amperímetros ubicados en el tablero de control.

2.2 Turbinas

Función: Acelerar y dirigir el flujo de granalla mediante fuerza centrífuga, suministrando 125kg/min del abrasivo.

Principio de Funcionamiento: El motor eléctrico enciende haciendo girar todo el conjunto de la turbina. La granalla llega al codo de alimentación por gravedad. El rotor le da una primera aceleración a la granalla, impulsándola para que pase a través de la abertura que posee la caja de control y se dirija hacia los alabes o paletas. La granalla es impulsada por estos últimos, mediante fuerza centrífuga, hacia las piezas que se encuentran en la cámara de granallado.

3. Circulación y limpieza de granalla

Función: Almacenar y transportar hasta 40T/h de granalla utilizada en el proceso, desde la parte inferior de la cámara de granallado hasta la tolva, separando polvos y sólidos.

Principio de funcionamiento: La granalla impactada en la pieza cae en la parte inferior de la recámara de granallado, dirigiéndose al tornillo longitudinal, el cual transporta la granalla a otro tornillo ubicado perpendicularmente llamado tornillo transversal. Este último a su vez lleva la granalla a la parte inferior del elevador de cangilones, el cual coge la granalla y la transporta a la parte superior de la máquina donde se encuentra el tornillo separador. En este lugar la granalla después ser transportada por el tornillo, es sometida a una separación de polvos y sólidos adquiridos en el proceso, y llega a la tolva descontaminada donde se almacena y va suministrando por gravedad las compuertas.

3.1 Tornillos transportadores

Función: Transportar hasta 40T/h de granalla utilizada en el proceso, enviándola al elevador de cangilones.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Principio de funcionamiento: Por medio del sistema de control eléctrico se da encendido a 2 motor- reductores, los cuales por medio de una transmisión por cadena hacen girar los ejes de los tornillos que están fabricados con una forma de espiral para el empuje de la granalla. Principalmente el tornillo longitudinal envía la granalla al tornillo transversal, donde este último que esta perpendicular al anterior, lo termina transportando hasta el elevador de cangilones.

3.2 Elevador de cangilones

Función: Recibir granalla del tornillo transportador y elevar por medio de la circulación de la banda de cangilones, hasta 40T/h de ésta hasta el separador de granalla, manteniendo el constante transporte del abrasivo.

Principio de funcionamiento: En una banda cerrada de goma se encuentran instalados separadamente cangilones con fondos redondeados. Un motor acoplado a un reductor cicloidal, transmite movimiento a una polea o rueda conductora en la cual se encuentra montada la banda de cangilones de manera vertical hasta una segunda polea, todo esto ubicado en la parte interna de una estructura hermética. La banda de cangilones a una velocidad constante de 1m/seg, recoge la granalla desde la parte inferior de la estructura donde anteriormente lo había conducido el tornillo transportador, y lo eleva hasta la parte superior del elevador bajo el motorreductor, donde finalmente arroja la granalla por medio de la fuerza centrífuga hacia el tornillo separador de granalla.

3.3 Separador de granalla

Función: Recibir del elevador de cangilones la granalla y llevarla limpia y descontaminada hasta la tolva, separando en el transporte el polvo y la escoria de la mezcla.

Principio de funcionamiento: La mezcla de abrasivo proveniente del elevador de cangilones, entra al área de separación pasando primero por un tornillo en espiral que esparce la granalla a lo largo del separador y la descarga formando una cortina uniforme de mezcla. Esta cortina pasa por una junta la cual con la ayuda de flujo de aire conduce la granalla uniforme hacia la tolva, atrapa solidos grandes y envía la escoria y el polvo de granalla generados en el proceso hacia un compartimiento conectado con el colector de polvo.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4. Sistema extracción de polvos

Función: Prevenir la contaminación ambiental extrayendo del sistema separador, el aire con polvo producido en el proceso de granallado a una capacidad de 8800 m³/h., para luego acumular el polvo en un recipiente utilizado para su disposición.

Principio de funcionamiento: El aire con polvo generado en la limpieza de piezas es traído desde el sistema separador, circulando por los ductos hasta el colector de polvo. La circulación del aire con polvo se da por una presión de vacío que genera un ventilador centrífugo ubicado en la parte superior del colector. En el colector se ubican 4 filtros tipo cartucho que se encargan de atrapar el polvo y permitir el paso únicamente del aire limpio hacia el ambiente. Estos filtros reciben unos flujos de aire a alta presión en sentido contrario (soplado), con el fin de que el polvo atrapado en los cartuchos caiga en la parte inferior del colector y posteriormente en un recipiente para su correcta disposición.

4.1 Colector de polvo

Función: Permitir el paso del aire limpio al ventilador, atrapando la totalidad del polvo de forma hermética y dirigiéndolo hacia el recipiente de disposición.

Principio de Funcionamiento: El aire con polvo entra al colector, en el cual sus 4 filtros de tela tipo cartucho instalados herméticamente, atrapan el polvo y permiten el paso de aire limpio hacia el ventilador. El polvo cae por gravedad y por un flujo de aire a presión aplicado a los filtros desde su interior. La parte inferior del colector en forma de cono posee una compuerta que se abre con el peso del polvo y permite que este caiga en un recipiente externo para desecharlo.

4.2 Ductos separadores

Función: Conducir el flujo de aire con polvo desde el sistema separador hasta el colector de polvo, garantizando la hermeticidad del flujo y separando las partículas más pesadas durante el recorrido a recipientes externos.

Principio de funcionamiento: Un ducto flexible conectado al sistema separador toma el aire con polvo gracias al vacío generado por el ventilador centrífugo del colector. Este ducto termina conectándose a una trampa de polvo que separa las partículas más pesadas hacia un recipiente

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

externo y permite el paso de las partículas más finas gracias a un sistema de compuerta. En este punto se conecta un segundo ducto horizontal que conduce el flujo hasta otra trampa de polvo, en donde finalmente existe un último ducto que termina orientando el flujo de aire con polvo hasta el colector.

4.3 Soplado

Función: Aplicar aire a presión entre 0,5 a 0,7 Mpa al interior de los filtros tipo cartucho, cada que se cumpla el tiempo programado en la tarjeta de control.

Principio de funcionamiento: La alimentación de aire a presión llega hasta 2 solenoides, las cuales se excitan eléctricamente al recibir la señal de la tarjeta electrónica, que después de un tiempo programado envían la señal de alimentación a las electroválvulas. Al conmutarse los solenoides se abren y permiten el paso de aire a presión al interior de los filtros, soplando el polvo adherido en el elemento filtrante.

4.4 Extractor

Función: Desplazar 8800 m³/h de aire desde el colector hasta la salida al ambiente.

Principio de funcionamiento: Un propulsor compuesto en su periferia por alabes y situado en el interior de una carcasa con forma de caracol, recibe un movimiento giratorio desde el eje de un motor eléctrico. La carcasa o voluta tiene una entrada de aire en forma axial. Este aire es impulsado por centrifugación por medio de las hélices o alabes del propulsor, a través de la carcasa en sentido de la rotación del motor, y lo expulsa por la salida de la carcasa en forma radial.

5. Sistema de transporte de piezas

Función: Trasladar en la banda tipo malla, las piezas que se desean granallar desde la entrada hasta la salida, con una velocidad de 0.1 - 8 m/min según lo programado por el operador sin interrumpir el movimiento.

Principio de funcionamiento: Un motorreductor recibe la orden de encendido desde un variador de velocidad. El motorreductor por medio de una transmisión por cadena le da movimiento a un rodillo tractor, el cual por fricción genera una fuerza tangencial a una banda continua tipo malla

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

metálica en sentido de la rotación del rodillo. Esta malla está extendida sobre otros rodillos tensores soportados en chumaceras, los cuales direccionan el recorrido de la malla.

5.1 Transmisión de movimiento malla

Función: Transmitir el movimiento giratorio desde el motor eléctrico hasta el rodillo tractor reduciendo la velocidad con una relación de 50/1

Principio de funcionamiento: Al encender el motor eléctrico, se transmite su movimiento a una caja de reductora de velocidad, la cual en su eje de salida se ubica un Sprocket. El Sprocket por medio de una cadena le da movimiento a un Sprocket secundario acoplado al rodillo tractor, el cual queda girando a una relación de 50/1 con respecto al motor eléctrico.

5.2 Tensores de malla

Función: Darle soporte y tensión a la banda tipo malla, manteniendo su alineación y desplazamiento.

Principio de funcionamiento: 6 tensores ubicados a lo largo del recorrido de la banda están soportados sobre chumaceras. Estos rodillos mantienen la banda tensionada y guiada para garantizar su desplazamiento. Uno de los rodillos le da tensión a la banda cada que sus chumaceras se desplazan de forma paralela gracias a una fuerza externa. Dicha ubicación correcta de las chumaceras corrige la pérdida de tensión por estiramiento de la malla.

6. Cabina de Granallado

Función: Sellar el flujo de granalla durante la aplicación en las piezas, y servir de estructura y soporte a las 4 turbinas, brindando internamente el espacio adecuado para la limpieza de los productos.

Principio de funcionamiento: La recamara tiene un volumen de 5m³, con una entrada y una salida, separadas cada una por cortina de tela de neopreno. Internamente compuesta por láminas o placas que atrapan la granalla sobrante del impacto con el producto al ser disparada por las turbinas, y la conducen hacia el tornillo longitudinal. Estas laminas están sujetas con tuercas anti desgaste diseñadas para soportar el contacto con la granalla. La estructura de la recamara se acopla a las turbinas de manera que las direcciona a impactar la granalla en el centro de su espacio interior.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

6.1 Placas de protección internas

Función: Proteger la estructura interna de la recámara de granallado y contener la granalla utilizada después del impacto con el producto.

Principio de funcionamiento: Las placas protectoras son láminas de acero de alta dureza de 6mm de espesor, las cuales reciben el impacto de la granalla que no golpean directamente en la pieza granallar o rebotan después de tocarla. Se encuentran posicionadas de tal forma que la granalla allí impactada caiga al tornillo longitudinal.

6.2 Tuercas de sujeción

Función: Sujetar y fijar las placas protectoras en conjunto con los tornillos de la estructura y permitir hacer el montaje desmontaje de estas.

Principio de funcionamiento: Las tuercas de sujeción son piezas mecánicas con un orificio central interno, roscado y sellado, el cual se acopla con un tornillo sujetando y fijando las placas protectoras. El lado contrario al orificio contiene un cuadrante de gran espesor para soportar el desgaste generado por la granalla.

6.3 Compuerta de inspección

Función: Permitir el acceso a las personas desde la parte externa, para realizar trabajos de inspección y reparación, garantizando la hermeticidad de la recámara cuando se encuentre cerrada.

Principio de funcionamiento: La compuerta consta de una bisagra reforzada la cual permite que un eje conectado con la puerta, gire a 90° y permita la apertura y cierre. Al cerrarse la puerta cuenta con un conjunto de elementos móviles al otro extremo de la bisagra, que se conectan con unos elementos fijos situados en el marco y permiten el bloqueo del sistema. En todo el traslape de la unión del marco y la puerta existe un empaque que garantiza la hermeticidad del sistema.

Fase 2: Fallas funcionales

Fase 3: Modos de falla

SISTEMA DE CONTROLES E INSTRUMENTACIÓN					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	
1	Recibir accionamientos humanos, para procesar, modificar y transmitir los flujos de electricidad y aire comprimido desde sus respectivas fuentes, hacia los elementos electromecánicos, controlando y regulando altos flujos de corriente, convirtiendo la energía eléctrica y neumática recibida, en energía mecánica.	A	No disponible para recibir accionamientos humanos	1	Botones reventados
				2	Interruptor térmico principal disparado
				3	Válvula de suministro de aire atascada en posición cerrada
		B	No se energiza sistema al activar el interruptor principal	1	Corte de energía en la subestación eléctrica.
		C	No suministra aire comprimido al abrir la válvula principal	1	Red neumática desde el compresor de aire sin presión
2	Transportar, controlar y modificar el voltaje y la corriente desde la fuente eléctrica, por medio de conductores y elementos de control, hasta los motores eléctricos y solenoides de electroválvulas neumáticas, suministrando 220Vac, quienes con esto convierten las energías de entrada en movimientos rotativos y lineales. El sistema eléctrico también debe emitir señales de indicación luminosas y proteger los elementos que hacen parte del circuito contra sobrecargas.	A	No procesa las señales eléctricas, desde la fuente de alimentación hasta los motores eléctricos y solenoides de electroválvulas neumáticas para generar movimientos.	1	Cable de control desconectado
				2	Contactos de elementos desgastados
				3	Relé térmico disparado
				4	Bobinas eléctricas quemadas
		B	No emite señales luminosas	1	Pilotos luminosos quemados
3	Conducir y regular la presión de aire comprimido en un rango de 72 a 110 Psi, desde la	A	No suministro de ninguna cantidad de aire comprimido	1	Válvula de suministro de aire desacoplada internamente
				2	Red neumática desde el compresor de aire

válvula principal hasta los actuadores neumáticos, generando con el movimiento de estos la apertura de las compuertas de suministro de granalla. También debe conducir el aire a presión hasta los filtros del colector de polvos.	B	Presión de aire no regula entre 72 y 110 Psi	3	Regulador de aire bloqueado en posición cerrado
			1	Compresor de aire deficiente
			2	Regulador de aire desgastado
			3	Manómetro de aire descalibrado
			4	Manguera de aire rota

Tabla 2. Fallas funcionales y modos de falla sistema de controles e instrumentación

SISTEMA DE ACELERACIÓN DE GRANALLA					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	
1	Conducir la granalla desde la parte inferior de la tolva hasta las turbinas, permitiendo el paso en las compuertas de suministro, y por medio de la rotación de las turbinas direccionar la granalla a una capacidad de 125kg/min hacia las piezas que se encuentran al interior de la cámara de granallado.	A	No hay flujo de granalla	1	Tolva sin granalla
				2	Compuertas taponadas de basura
				3	Electroválvula neumática bloqueada en posición cerrada
				4	Manguera de aire desacoplada
				5	Actuador de compuerta reventado
				6	Actuador neumático desacoplado de compuerta
				7	Compuerta bloqueada internamente
		B	El flujo de granalla hacia las piezas no es igual a 125kg/min	1	Compuerta obstruida por objeto
		2	Actuador neumático con desgaste		
		3	Manguera de suministro obstruida		
4	Platinas de regulación mal posicionadas				

			5	Poca cantidad de granalla en tolva	
			6	Codo alimentador roto	
			7	Caja de control con desgaste	
		C	Turbinas sin rotación	1	Motor eléctrico quemado
		2	Correas de transmisión reventadas		
		3	Poleas de transmisión sueltas		
		4	Poleas de transmisión desgastadas		
		5	Paletas reventadas o faltantes		
		6	Eje de impulsor reventado		
		7	Impulsor bloqueado		

Tabla 3. Fallas funcionales y modos de falla sistema de aceleración de granalla

SISTEMA DE CIRCULACIÓN Y LIMPIEZA DE GRANALLA					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	
1	Almacenar y transportar hasta 40T/h de granalla utilizada en el proceso, desde la parte inferior de la cámara de granallado hasta la tolva, separando polvos y sólidos.	A	No hay transporte de granalla desde la cámara de granallado hasta la tolva	1	Tornillo transportador bloqueado
				2	Tornillo transportador reventado
				3	Motorreductor bloqueado
				4	Cadena de transmisión reventada
				5	Sprocket suelto
				6	Motor eléctrico quemado
				7	Banda de cangilones sin tensión

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

			8	Banda de cangilones reventada	
			9	Banda de cangilones bloqueada	
		B	No hay separación de polvo en la granalla	1	Deflectores desajustados
		2		Tornillo de cortina bloqueado	
		3		Obstrucción en la cortina de granalla	
		4		Contaminación excesiva de tolva	

Tabla 4. Fallas funcionales y modos de falla sistema de circulación y limpieza de granalla

SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	
1	Prevenir la contaminación ambiental extrayendo del sistema separador, el aire con polvo producido en el proceso de granallado a una capacidad de 8800 m ³ /h., para luego acumular el polvo en un recipiente utilizado para su disposición.	A	Contaminación ambiental alrededor de proceso	1	Ventilador de extractor bloqueado
				2	Motor de ventilador quemado
				3	Cámara centrifuga obstruida
		B	Extracción de polvo ineficiente	1	Filtros tipo cartucho saturados
				2	Filtros tipo cartuchos desajustado
				3	Colector de polvo roto
				4	Ductos separadores obstruidos
		C	No hay acumulación de polvo en recipiente de disposición	1	Compuerta de vaciado colector de polvo bloqueada
				2	Electroválvulas de sopladores bloqueadas
				3	Ductos de aire de sopladors rotos

Tabla 5. Fallas funcionales y modos de falla sistema de extracción de polvo

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

SISTEMA DE TRANSPORTE DE PIEZAS					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	
1	Trasladar en la banda tipo malla, las piezas que se desean granallar desde la entrada hasta la salida, con una velocidad de 0.1 - 8 m/min según lo programado por el operador sin interrumpir el movimiento.	A	No hay movimiento de malla	1	Motor eléctrico quemado
				2	Motorreductor atascado
				3	Cadena reventada
				4	Sprocket suelto
				5	Malla reventada
				6	Rodillo tractor bloqueado
		B	La malla se mueve a una velocidad no programada	1	Desgaste de malla
				2	Tensores de malla sueltos

Tabla 6. Fallas funcionales y modos de falla sistema de transporte de piezas

CABINA DE GRANALLADO					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	
1	Sellar el flujo de granalla durante la aplicación en las piezas, y servir de estructura y soporte a las 4 turbinas, brindando internamente el espacio adecuado para la limpieza de los productos.	A	Fuga de granalla	1	Estructura rota
				2	Compuerta desajustada
				3	Empaques desgastados
				4	Placas protectoras sueltas

Tabla 7. Fallas funcionales y modos de falla cabina de granallado

Fase 4: Efectos y consecuencias de modo de falla

SISTEMA DE CONTROLES E INSTRUMENTACIÓN

1A1. Botones reventados

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Efectos de falla: La máquina, o un sistema de la máquina no se puede encender o detener, lo que genera un paro del proceso de granallado, afectando la producción de la planta. También genera la imposibilidad de detener una función del equipo, lo cual crea un riesgo ambiental y de seguridad. Se debe cambiar el botón para restaurar el funcionamiento.

Consecuencia de falla: Seguridad, ambiental y operacional.

1A2. Interruptor térmico principal disparado

Efecto de falla: El sistema de control no puede energizarse. Esto genera paro del proceso de granallado afectando la producción de la planta. Se debe reiniciar el interruptor para restaurar correcto funcionamiento de equipo.

Consecuencia de falla: Operacional.

1A3. Válvula de suministro atascada en posición cerrada

Efecto de falla: El sistema neumático del equipo no se puede habilitar, lo que genera un paro del proceso de granallado, afectando la producción de la planta. Se debe realizar reparación de la válvula o cambio de esta si es necesario para habilitar el funcionamiento.

Consecuencia de falla: Operacional

1B1. Corte de energía en subestación eléctrica

Efecto de falla: La máquina y sus periféricos no se pueden energizar, lo cual incurre en el paro del proceso de granallado y el confort en zona de trabajo por falta de iluminación y ventilación, afectando la producción de la planta. Se debe corregir falla en subestación eléctrica para restaurar el funcionamiento.

1C1. Red neumática desde el compresor de aire sin presión

Efecto de falla: Los actuadores neumáticos no abren las compuertas de alimentación de granalla, evitando el suministro del abrasivo a las turbinas para limpiar las piezas. También evita el soplado de los filtros por lo cual se pueden saturar y hace extracción de polvos ineficiente. Lo anterior afecta la calidad de las piezas y genera un reproceso por producto no conforme, sumado a la generación

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

de contaminación del medio ambiente. Se debe reparar falla en compresor de aire para restablecer el correcto funcionamiento del equipo.

Consecuencia de falla: Operacional y ambiental

2A1. Cable de control desconectado

Efecto de falla: Mal funcionamiento del sistema eléctrico apagando algún sistema del equipo, lo que genera paro en el proceso de granallado, afectando la producción o también puede generar productos no conformes afectando la calidad del producto. Se debe conectar correctamente el cable para restaurar el funcionamiento del equipo.

Consecuencia de falla: Operacional

2A2. Contactos de elementos desgastados

Efecto de falla: No funciona uno o más motores eléctricos y/o solenoides de electroválvulas, generando producto no conforme o un paro del proceso. Se debe cambiar el relé o contactor averiado para restablecer el funcionamiento.

Consecuencia de falla: Operacional.

2A3. Relé térmico disparado

Efecto de falla: Motor eléctrico no funciona, generando paro del proceso o productos no conforme. Se debe reiniciar el relé térmico para restablecer funcionamiento de motor.

Consecuencia de falla: Operacional.

2A4. Bobina quemada

Efecto de falla: Hay un olor inusual en el gabinete eléctrico y/o no funciona uno o más motores eléctricos y/o solenoides de electroválvulas, generando producto no conforme o un paro del proceso. Se debe cambiar el elemento averiado para restablecer el funcionamiento.

Consecuencia de falla: Operacional

2B1. Pilotos luminosos quemados

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Efecto de falla: No hay indicaciones luminosas de encendido, cambiando el estado original del equipo sin afectar las condiciones básicas de operación. Se debe cambiar el piloto luminoso quemado.

Consecuencias de falla: Operacional.

3A1. Válvula de suministro de aire desacoplada internamente

3A2. Red neumática desde el compresor de aire sin presión

Efecto de falla: Los actuadores neumáticos no abren las compuertas de alimentación de granalla, evitando el suministro del abrasivo a las turbinas para limpiar las piezas. También evita el soplado de los filtros por lo cual se pueden saturar y hace extracción de polvos ineficiente. Lo anterior afecta la calidad de las piezas y genera un reproceso por producto no conforme, sumado a la generación de contaminación del medio ambiente. Se debe reparar falla en compresor de aire para restablecer el correcto funcionamiento del equipo.

Consecuencia de falla: Operacional y ambiental.

3A3. Regulador de aire bloqueado en posición cerrado

Efecto de falla: Los actuadores neumáticos no abren las compuertas de alimentación de granalla, evitando el suministro del abrasivo a las turbinas para limpiar las piezas. También evita el soplado de los filtros por lo cual se pueden saturar y hace extracción de polvos ineficiente. Lo anterior afecta la calidad de las piezas y genera un reproceso por producto no conforme, sumado a la generación de contaminación del medio ambiente. Se debe cambiar el regulador de aire.

Consecuencia de falla: Operacional y ambiental.

3B1. Compresor de aire deficiente

Efecto de falla: Soplado de filtros ineficiente y rápida saturación, lo cual genera contaminación del medio ambiente. Se debe reparar compresor de aire para restablecer el correcto funcionamiento.

Consecuencia de falla: Ambiental.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3B2. Regulador de aire desgastado

Efecto de falla: Soplado de filtros ineficiente y rápida saturación, lo cual genera contaminación del medio ambiente. Se debe cambiar regulador de aire para restablecer el correcto funcionamiento.

Consecuencia de falla: Ambiental

3B3. Manómetro de aire averiado

Efecto de falla: No se puede verificar presión real de aire, que genera cambio de condiciones básicas de operación. Se debe cambiar el manómetro de aire para restablecer las condiciones de operación.

Consecuencia de falla: Operacional

3B4. Manguera de aire rota

Efecto de falla: Fuga de aire considerable generadora de ruido y desperdicio energético. Se debe reparar el tramo de manguera rota para restablecer las condiciones de operación.

Consecuencia de falla: Ambiental

SISTEMA DE ACELERACIÓN DE GRANALLA

1A1. Tolva sin granalla

Efecto de falla: No hay flujo de granalla hacia las piezas, generando mal granallado en el producto y problemas de calidad. Se debe llenar la tolva con abrasivo nuevo.

Consecuencia de falla: Operacional

1A2. Compuertas taponadas con basura

Efecto de falla: No hay flujo de granalla hacia las piezas, generando mal granallado en el producto y problemas de calidad. Se debe limpiar la tolva de elementos diferentes a granalla, y limpiar la granalla.

Consecuencia de falla: Operacional

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1A3. Electroválvula bloqueada en posición cerrada

Efecto de falla: No se acciona el actuador neumático que abre la compuerta de suministro de granalla, generando mala limpieza del producto y problemas de calidad. Se debe reparar la electroválvula.

Consecuencia de falla: Operacional

1A4. Manguera de aire desacoplada

Efecto de falla: No se acciona el actuador neumático que abre la compuerta de suministro de granalla, generando ruido por fuga de aire, mala limpieza del producto lo que repercute en problemas de calidad. Se debe acoplar la manguera

Consecuencia de falla: Ambiental y operacional.

1A5. Actuador de compuerta reventado

Efecto de falla: No se abre la compuerta de suministro de granalla, generando falta de abrasivo en turbina y problemas de calidad. Se de reparar el vástago del actuador.

Consecuencia de falla: Operacional

1A6. Actuador neumático desacoplado de compuerta

Efecto de falla: No se abre la compuerta de suministro de granalla, generando falta de abrasivo en turbina y problemas de calidad. Se debe fijar el mecanismo de la compuerta al vástago de actuador.

Consecuencia de falla: Operacional

1A7. Compuerta bloqueada internamente

Efectos de falla: No se evidencia suministro de granalla al accionarse el actuador de la compuerta, lo que causa ausencia de granalla en la turbina y problemas de calidad. Se debe realizar reparación de parte interna de compuerta

Consecuencia de falla: Operacional

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1B1. Compuerta obstruida

Efecto de falla: No hay suficiente flujo de granalla hacia las piezas, generando mal granallado en el producto y problemas de calidad. Se debe realizar inspección y limpieza interna de compuerta.

Consecuencia de falla: Operacional.

1B2. Actuador neumático con desgaste

Efecto de falla: No se abre correctamente la compuerta de suministro, generando falta de granalla y problemas de calidad. Se debe reparar partes internas de actuador y lubricar.

Consecuencia de falla: Operacional.

1B3. Manguera de suministro obstruida

Efecto de falla: No hay suficiente flujo de granalla hacia las piezas, generando problemas de calidad por mal granallado. Se debe limpiar la manguera en la parte interna.

Consecuencia de falla: Operacional

1B4. Platinas de regulación mal posicionadas

Efecto de falla: No hay suficiente flujo de granalla hacia las piezas, generando mal granallado del producto y problemas de calidad. Se debe posicionar y ajustar platinas correctamente.

Consecuencia de falla: Operacional

1B5. Poca cantidad de granalla en tolva

Efecto de falla: Ausencia de granalla en una o más turbinas, generando problemas de calidad en las piezas por granallado deficiente. Se debe ajustar cantidad de granalla en tolva

Consecuencia de falla: Operacional

1B6. Codo alimentador roto:

Efecto de falla: Perdida de granalla hacia el exterior de la máquina, generando contaminación en el piso alrededor y mal granallado de producto. Se debe cambiar codo alimentador.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Consecuencia de falla: Ambiental y operacional

1B7. Caja de control con desgaste

Efecto de falla: Perdida de granalla hacía en el interior de la máquina, generando mal granallado de producto. Se debe cambiar caja de control.

1C1. Motor eléctrico quemado

Efecto de falla: Disparo de disyuntor térmico de motor de turbina, generando mal granallado en el producto. Se debe reparar motor eléctrico.

Consecuencia de falla: Operacional

1C2. Correas de transmisión reventadas

Efecto de falla: Falta de aceleración de granalla desde la turbina hacia el producto, generando problemas de calidad por mal granallado. Se deben instalar nuevas correas de transmisión.

Consecuencia de falla: Operacional

1C3. Polea de transmisión suelta

Efecto de falla: Falta de aceleración de granalla desde la turbina hacia el producto, generando problemas de calidad por mal granallado. Se debe ajustar correctamente polea en eje

Consecuencia de falla: Operacional

1C4. Polea de transmisión desgastada

Efecto de falla: No hay aceleración de granalla desde la turbina hacia el producto, generando problemas de calidad por mal granallado. Se debe cambiar polea.

Consecuencia de falla: Operacional

1C5. Paletas reventadas o faltantes

Efecto de falla: No hay aceleración de granalla desde la turbina hacia el producto, generando problemas de calidad por mal granallado. Se deben cambiar paletas averiadas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Consecuencia de falla: Operacional

1C6. Eje impulsor reventado

Efecto de falla: No hay aceleración de granalla desde la turbina hacia el producto, generando problemas de calidad por mal granallado. Se debe cambiar el eje del impulsor.

Consecuencia de falla: Operacional

1C7. Impulsor bloqueado

Efecto de falla: Disparo de disyuntor térmico de motor de turbina, generando mal granallado en el producto. Se debe eliminar bloqueo componente del impulsor.

Consecuencia de falla: Operacional

SISTEMA DE CIRCULACIÓN Y LIMPIEZA DE GRANALLA

1A1. Tornillo transportador bloqueado

Efecto de falla: Disparo de disyuntor térmico en panel de control, generando apagado de motores. Se debe revisar tornillo transportador afectado y reparar el componente que genera el bloqueo.

Consecuencia de falla: Operacional

1A2. Tornillo transportador reventado

Efecto de falla: No se entrega granalla a cangilones y se acumula en compartimiento de tornillo transportador, generando mal funcionamiento en otros sistemas. Se debe reparar tornillo transportador o cambiar.

Consecuencia de falla: Operacional

1A3. Motorreductor bloqueado

Efecto de falla: No se transmite movimiento a la cadena de transmisión de tornillo transportador, generando ausencia de granalla en el elevador de cangilones. Se debe reparar componente interno de motorreductor que genera el bloqueo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Consecuencia de falla: Operacional

1A4. Cadena de transmisión reventada

Efecto de falla: No se transmite movimiento al tornillo transportador, generando ausencia de granalla en tolva. Se debe reparar cadena de transmisión, tensionar y lubricar correctamente.

Consecuencia de falla: Operacional

1A5. Sprocket suelto

Efecto de falla: No se transmite movimiento al tornillo transportador, generando ausencia de granalla en tolva. Se debe ajustar correctamente Sprocket en eje.

Consecuencia de falla: Operacional

1A6. Motor eléctrico quemado

Efecto de falla: Disparo de disyuntor térmico de motor de tornillo transportador, generando apagado de los demás motores. Se debe reparar motor eléctrico.

Consecuencia de falla: Operacional

1A7. Banda de cangilones sin tensión

Efecto de falla: Banda deslizando sobre su polea, generando interrupción de transporte de granalla y acumulación de esta misma en piso de elevador. Se debe ajustar a tensión de la banda de cangilones.

Consecuencia de falla: Operacional

1A8. Banda de cangilones reventada

Efecto de falla: Interrupción de transporte de granalla y acumulación de esta misma en piso de elevador. Se debe cambiar banda de cangilones.

Consecuencia de falla: Operacional

1A9. Banda de cangilones bloqueada

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Efecto de falla: Interrupción de transporte de granalla y acumulación de esta misma en piso de elevador. Se debe revisar banda y cangilones y reparar elemento que genera el bloqueo.

Consecuencia de falla: Operacional

1B1. Deflectores desajustados

Efecto de falla: Granalla contaminada, lo que genera mal granallado de piezas y contaminación en los alrededores. Se debe dar el ajuste correcto a los deflectores.

Consecuencia de falla: Operacional Y ambiental

1B2. Tornillo de cortina bloqueado

Efecto de falla: Ausencia de granalla en tolva, lo que genera mal granallado de producto. Se debe revisar tornillo de cortina y reparar el elemento causante del bloqueo.

Consecuencia de falla: Operacional

1B3. Obstrucción en la cortina de granalla

Efectos de falla: Mala distribución de granalla en la tolva, lo que genera ausencia de granalla en alguna las compuertas. Se debe cernir la granalla y limpiar canales de cortina.

Consecuencia de falla: Operacional

1B4. Contaminación excesiva de tolva

Efecto de falla: Mal granallado de producto y contaminación excesiva de filtros y alrededores. Se debe limpiar tolva y cernir granalla.

Consecuencia: Ambiental y operacional.

SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO

1A1. Ventilador de extractor bloqueado

Efecto de falla: No hay generación de vacío en el colector de polvo, lo que genera acumulación de polvo en el sistema. Se debe reparar elemento que está bloqueando el ventilador.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Consecuencia de falla: Ambiental

1A2. Motor de ventilador quemado

Efecto de falla: Disparo de disyuntor térmico en el panel de control, generando el apagado de motores de tornillos transportadores. Se debe reparar el motor del ventilador.

Consecuencia de falla: Ambiental y operacional

1A3. Cámara centrífuga obstruida

Efecto de falla: No hay generación de vacío en el colector de polvo, lo que genera acumulación de polvo en el sistema. Se debe limpiar la cámara centrífuga.

1B1. Filtros tipo cartuchos saturados

Efecto de falla: Salida excesiva de polvo por entrada y salida de cabina de granallado, lo que genera contaminación en los alrededores.

Consecuencia de falla: Ambiental

1B2. Filtro tipo cartucho desajustado

Efecto de falla: Salida excesiva de polvo por cámara centrífuga hacia el ambiente, generando contaminación. Se debe ajustar correctamente el filtro en el colector.

Consecuencia de falla: Ambiental

1B3. Colector de polvo roto

Efecto de falla: Pérdida de presión de vacío por falta de hermeticidad, generando contaminación alrededor. Se debe reparar estructura de colector.

Consecuencia de falla: Ambiental

1B4. Ductos separadores obstruidos

Efecto de falla: Exceso de polvo en sistemas de máquina y granalla, generando salida de polvo en entrada y salida de cabina de granallado. Se deben limpiar todos los ductos separadores.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Consecuencia de falla: Ambiental y operacional

1C1. Compuerta de vaciado colector de polvo bloqueada

Efecto de falla: Rápida saturación de filtros tipo cartucho y acumulación de polvo al interior del colector, generando riesgo de incendio. Se debe realizar inspección y reparación de elemento que genera bloqueo de compuerta.

Consecuencia de falla: Seguridad

1C2. Electroválvulas de sopladores bloqueadas

Efecto de falla: Rápida saturación de filtros, lo cual genera salida de polvo en exceso por cabina de granallado. Se debe funcionamiento de válvulas y reparar elemento que genera el bloqueo.

Consecuencia de falla: Ambiental

1C3. Ductos de sopladores de aire rotos

Efecto de falla: Fuga excesiva de aire, lo cual genera consumo ineficiente de energía, ruido en exceso y rápida saturación de filtros. Se debe reparar, sellando correctamente los ductos.

Consecuencia de falla: Ambiental

SISTEMA DE TRANSPORTE DE PIEZAS

1A1. Motor eléctrico quemado

Efecto de falla: Alarma en variador de velocidad de motor por sobre corriente, lo cual genera el paro del movimiento de la banda tipo malla. Se debe reparar motor eléctrico.

Consecuencia de falla: Operacional

1A2. Motor reductor atascado

Efecto de falla: Alarma en variador de velocidad de motor por sobrecarga, lo cual genera el paro del movimiento de la banda tipo malla. Se debe reparar componente que bloquea el motorreductor.

Consecuencia de falla: Operacional

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1A3. Cadena reventada

Efecto de falla: No se transmite el movimiento al rodillo principal de banda tipo malla, generando bloqueo de malla. Se debe reparar la cadena y dar tensión correcta.

Consecuencia de falla: Operacional

1A4. Sprocket suelto

Efecto de falla: No se transmite movimiento al movimiento al rodillo principal de banda tipo malla, generando bloqueo de malla. Se debe ajustar correctamente Sprocket en el eje.

Consecuencia de falla: Operacional

1A5. Malla reventada

Efecto de falla: La banda tipo malla no se desplaza mientras el rodillo tractor gira, lo que genera el paro de transporte de las piezas. Se debe empalmar la malla o cambiarla.

Consecuencia de falla: Operacional.

1A6. Rodillo tractor bloqueado

Efecto de falla: Alarma en variador de velocidad de motor por sobrecarga, lo cual genera el paro del movimiento de la banda tipo malla. Se debe reparar componente que bloquea mecánicamente el rodillo tractor.

Consecuencia de falla: Operacional

1B1. Desgaste de malla

Efecto de falla: El rodillo tractor se desliza en la banda, generando movimiento intermitente de las piezas. Se debe tensionar la banda tipo malla

Consecuencia de falla: Operacional

1B2. Tensores de malla sueltos

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Efecto de falla: Banda tipo malla sin tensión, generando movimiento intermitente de banda por deslizamiento sobre rodillo tractor.

Consecuencia de falla: Operacional

CABINA DE GRANALLADO

1A1. Estructura rota

Efecto de falla: Fuga de granalla con alta velocidad hacia los alrededores de la máquina, lo cual genera contaminación de piso y riesgo de impacto a las personas. Se debe identificar lugar de fuga y sellar parte de máquina afectada.

Consecuencia de falla: Seguridad y ambiental

1A2. Compuerta desajustada

Efecto de falla: Fuga de granalla con alta velocidad y polvo en un costado de la máquina, lo cual genera contaminación de piso y riesgo de impacto a las personas. Se debe ajustar correctamente la puerta.

Consecuencia de falla: Seguridad y ambiental

1A3. Empaques desgastados

Efecto de falla: Fuga de granalla hacia los alrededores de la máquina, lo cual genera contaminación de piso y pérdida de granalla. Se deben cambiar empaques desgastados.

Consecuencia de falla: Seguridad y ambiental

1A4. Placas protectoras sueltas

Efecto de falla: Desgaste prematuro de componentes internos en la cabina por el impacto de granalla, lo cual genera averías en otros sistemas. Se deben ajustar las tuercas de las placas protectoras.

Consecuencia de falla: Operacional

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Fase 5: Planteamiento de medidas preventivas

- Botones reventados: Señalizaciones y demarcaciones de zona de trabajo.
- Interruptor térmico principal disparado: Medición periódica de variables eléctricas en circuito de potencia.
 - Válvula de suministro de aire atascada en posición cerrada: Revisión de funcionamiento correcto de válvula y lubricación de mecanismo de válvula.
 - Corte de energía en la subestación eléctrica: Verificación de fuente de alimentación eléctrica.
 - Red neumática desde el compresor de aire sin presión: Verificación periódica de presión neumática entre el rango de trabajo, en el manómetro principal.
 - Cable de control desconectado: Revisión y ajuste periódico de bornes y cableado eléctricos.
 - Contactos de elementos desgastados: Limpieza de elementos de control. Establecer frecuencia de cambio de elementos de control según historial de falla.
 - Relé térmico disparado: Verificación periódica de las variables físicas (corriente, impedancia, aislamiento, temperatura) de motores eléctricos durante el trabajo y correcto funcionamiento.
 - Bobinas eléctricas quemadas: Revisión de hermeticidad del bobinado, verificación de variables eléctricas de bobinado (resistencia, corriente, impedancia) y limpieza superficial.
 - Pilotos luminosos quemados: Cambio pilotos al detectar pérdida de potencia.
 - Válvula de suministro de aire desacoplada internamente: Revisión periódica de funcionamiento correcto de válvula y lubricación de mecanismo de válvula.
 - Red neumática desde el compresor de aire sin presión: Verificación periódica de correcto funcionamiento de compresor de aire.
 - Regulador de aire bloqueado en posición cerrado: Revisión periódica de funcionamiento de regulador y ajuste.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Compresor de aire deficiente: Verificación periódica de correcto funcionamiento de compresor de aire.
- Regulador de aire desgastado: Revisión de funcionamiento, limpieza y lubricación periódica de regulador
- Manómetro de aire descalibrado: Establecer frecuencia de cambio para manómetros de aire.
- Manguera de aire rota: Revisión de estado de mangueras neumáticas.
- Tolva sin granalla: Revisión de nivel de granalla en tolva.
- Compuertas taponadas de basura: Establecer frecuencia de limpieza de granalla.
- Electroválvula neumática bloqueada en posición cerrada: Realizar limpieza y lubricación interna de electroválvulas neumáticas.
- Manguera de aire desacoplada: Revisar conexión de mangueras neumáticas.
- Actuador de compuerta reventado: Realizar ajuste y alineación entre actuadores neumáticos y compuertas.
- Actuador neumático desacoplado de compuerta: Realizar ajuste y alineación entre actuadores neumáticos y compuertas.
- Compuerta bloqueada internamente: Realizar revisión y limpieza interna de compuertas.
- Compuerta obstruida por objeto: Realizar revisión y limpieza interna de compuertas.
- Actuador neumático con desgaste: Realizar revisión de hermeticidad de actuadores neumáticos y revisar correcto funcionamiento de unidad de mantenimiento.
- Manguera de suministro obstruida: Realizar soplado interno de mangueras de suministro.
- Platinas de regulación mal posicionadas: Realizar revisión y ajuste de platinas reguladoras.
- Poca cantidad de granalla en tolva: Revisión de nivel de granalla en tolva.
- Codo alimentador roto: Revisar estado de codo alimentador de granalla y cambiar si se nota desgaste avanzado.
- Caja de control con desgaste: Revisar estado de caja de control de granalla y cambiar si se nota desgaste avanzado.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Motor eléctrico quemado: Verificación de variables eléctricas en motores y revisión de coordinación de elementos de protección.
- Correas de transmisión reventadas: Establecer cambio de correas de transmisión.
- Poleas de transmisión sueltas: Realizar revisión de poleas y ejes, y hacer ajuste de prisioneros.
- Poleas de transmisión desgastadas: Revisar y limpiar poleas de transmisión.
- Paletas reventadas o faltantes: Establecer frecuencia de cambio de paletas de turbinas.
- Eje de impulsor reventado: Revisar correcto funcionamiento de giro de turbina.
- Impulsor bloqueado: Revisar estado de rodamientos
- Tornillo transportador bloqueado: Revisar correcto funcionamiento de tornillo transportador y estado de rodamientos. Verificar que el tornillo este protegido contra caída de objetos de la cabina de granallado.
- Tornillo transportador reventado: Verificar correcto funcionamiento de tornillo transportador.
- Motorreductor bloqueado: Establecer frecuencia de cambio de aceite de transmisión. Revisar estado de rodamientos y sistema de engranajes.
- Cadena de transmisión reventada: Revisar correcta tensión de cadenas de transmisión y lubricar.
- Sprocket suelto: Realizar revisión de sprockets y ejes, y hacer ajuste de prisioneros.
- Banda de cangilones sin tensión: Revisar tensión de bandas y estado de tensores.
- Banda de cangilones reventada: Limpiar banda de cangilones y revisar su estado.
- Banda de cangilones bloqueada: Revisar estado de cangilones y ajustarlos a la banda. Verificar libre funcionamiento de banda.
- Deflectores desajustados: Revisar ajuste y alineación de deflectores en la parte superior de la tolva.
- Tornillo de cortina bloqueado: Revisar el correcto funcionamiento de tornillo superior, verificar libre movimiento.
- Obstrucción en la cortina de granalla: Revisar y limpiar ranura de generación de cortina de granalla.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Contaminación excesiva de tolva: Revisar tolva y desalojar objetos extraños.
- Ventilador de extractor bloqueado: Revisar correcto funcionamiento de ventilador.
Revisar estado de rodamientos, ajustar y limpiar aspas.
- Motor de ventilador quemado: Verificación de variables eléctricas en motores y revisión de coordinación de elementos de protección.
- Cámara centrífuga obstruida: Revisar y limpiar cámara centrífuga de extractor de polvo.
- Filtros tipo cartucho saturados: Realizar limpieza frecuente de filtros y colector de polvo.
- Filtros tipo cartuchos desajustado: Realizar ajuste de filtros en colector de polvo y revisar empaques.
- Colector de polvo roto: Revisar hermeticidad de estructura de colector de polvo.
- Ductos separadores obstruidos: Realizar inspección y limpieza frecuente de ductos separadores.
- Compuerta de vaciado colector de polvo bloqueada: Revisar correcto funcionamiento de compuerta de vaciado, limpiar y lubricar sistema de apertura.
- Electroválvulas de sopladores bloqueadas: Realizar limpieza y lubricación interna de electroválvulas neumáticas.
- Ductos de aire de sopladors rotos: Revisar hermeticidad de estructura de ductos de aire de soplado.
- Motor eléctrico de trasportador quemado: Medición de variables eléctricas de motor. Revisar parámetros de variador de velocidad.
- Motorreductor atascado: Establecer frecuencia de cambio de aceite de transmisión.
Revisar estado de rodamientos, sistema de engranajes y acople.
- Malla reventada: Revisar estado de malla y verificar su correcto y libre funcionamiento.
- Rodillo tractor bloqueado: Revisar estado de rodamientos, limpiar y lubricar.
- Desgaste de malla: Establecer frecuencia de tensión y alineación de malla
- Tensores de malla sueltos: Revisar y limpiar tensores de malla. Revisar estado de chumacera de rodillo tensor, limpiar y lubricar.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Estructura rota: Realizar inspección estructural y reforzar puntos débiles de estructura.
- Compuerta desajustada: Realizar ajuste, limpieza y lubricación de componentes de compuerta. Revisar estado de empaque.
- Empaques desgastados: Revisar estado de empaques en los diferentes puntos de la estructura del equipo.
- Placas protectoras sueltas: Revisar estado de placas protectoras al interior de la máquina, limpiar y ajustar.
- Operación inadecuada de máquina: Levantar estándares de operación y limpieza de máquina.
- Puntos débiles de diseño: Se deben plantear casos de mejora que eliminen la causa raíz de las averías causadas por el diseño de la máquina.
- Conocimiento del proceso: Se deben generar planes de formación para mejorar la operación e intervenciones de la máquina tanto para el personal de mantenimiento como para el personal operador.

Fase 6: Agrupación de medidas preventivas

TAREAS DE MANTENIMIENTO		
SISTEMA MECÁNICO Y ESTRUCTURAL	LUBRICACIÓN SEMANTAL	Revisar niveles de aceite de motorreductores
		Realizar lubricación de cadenas de transmisión
		Realizar lubricación de chumaceras
		Lubricar partes móviles y de fricción
	INSPECCIÓN Y LIMPIEZA MENSUAL	Verificar correcto funcionamiento de ventilador de colector de polvo
		Verificar correcto funcionamiento de sistema de soplado de filtros
		Verificar correcto funcionamiento de tornillos transportadores de granalla
		Verificar correcto funcionamiento de elevador de cangilones
		Verificar correcto funcionamiento de las turbinas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

		Verificar correcto funcionamiento de compuertas de suministro de granalla
		Verificar correcto funcionamiento de banda transportadora tipo malla, tensionar y alinear
		Revisar nivel de granalla en tolva y ajustar cantidad necesaria
		Limpiar filtros de colector de polvo
		Limpiar parte interna de colector de polvo
		Verificar hermeticidad de colector de polvo
		Verificar hermeticidad de sistema de ductos de soplado de filtros
		Verificar correcto funcionamiento de compuerta de vaciado de polvo
		Verificar correcto funcionamiento de ductos separadores
		Verificar y corregir hermeticidad de cámara de granallado
		Ajuste de guardas de protección
		Limpieza general estructural
		MANTENIMIENTO SISTEMA MECÁNICO Y ESTRUCTURAL 4 MESES
		Revisión de funcionamiento correcto de válvula principal de aire y lubricación de mecanismo
		Revisión y ajuste de unidad de mantenimiento (filtro, regulador y vaso lubricador) y verificación de presión de entrada
		Verificación de estado de manómetros de aire
		Revisión de estado de mangueras neumáticas y limpieza.
		Revisión y ajuste de puntos de conexión de mangueras de sistema neumático
		Revisión ajuste y limpieza de ventilador colector de polvo
		Revisión de estado de rodamientos de ventilador de colector de polvo
	Realizar desmonte y limpieza de ductos separadores de polvo	
	Cambiar filtros tipo cartucho de colector de polvo	
	Realizar limpieza y ajuste de electroválvulas neumáticas	
	Desalojar objetos extraños en granalla de tolva	
	Revisión y ajuste de acoples entre actuadores y compuertas de suministro de granalla	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

		Revisión y limpieza interna de compuertas de suministro de granalla
		Revisión de hermeticidad de actuadores neumáticos
		Revisar mangueras de suministro de granalla y limpiar internamente
		Revisar y ajustar platinas de regulación de paso de granalla
		Revisar estado de codos alimentadores de turbinas y limpiar
		Revisar estado de cajas de control de granalla y ajustar posición
		Revisión y tensión de correas de transmisión de turbinas
		Revisar estado de poleas y ejes de transmisión de turbinas, limpiar y ajustar prisioneros
		Revisar estado de paletas de turbinas ajustar y limpiar
		Revisar correcto funcionamiento de impulsores de turbina
		Revisar estado de rodamientos de impulsores de turbinas y lubricar
		Verificar estado de tornillos transportadores de granalla
		Verificar protección de tornillos transportadores contra caída de objetos desde la cabina de granallado
		Revisar estado de rodamientos de tornillos transportadores de granalla y limpiar.
		Revisar estado de cadenas de trasmisión y dar tensión correcta
		Limpieza de motorreductores
		Revisar estado de rodamientos y sistema de engranajes en motorreductores
		Revisar estado de Sprockets y ejes de transmisión, ajustar prisioneros, lubricar dientes y limpiar
		Revisar estado de banda de cangilones y verificar tensión correcta
		Revisar estado de sistema de tensión de banda de cangilones
		Revisar estado de cangilones y ajuste en banda
		Revisar ajuste y alineación de deflectores en la parte superior de tolva
		Revisar el correcto funcionamiento de tornillo superior de cortina.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

		Revisar y limpiar ranura de generación de cortina de granalla
		Revisar estado de banda transportadora tipo malla
		Verificar funcionamiento de malla sin obstrucciones en cabina de granallado.
		Revisar estado de recubrimiento de rodillo tractor y limpiar
		Revisar estado de rodamientos rodillo tractor, limpiar y lubricar
		Revisar y limpiar rodillo tensor de banda transportadora tipo malla
		Revisar estado de chumaceras de rodillo tensor, limpiar y lubricar
		Realizar inspección estructural general y reforzar puntos débiles por desgaste en paredes internas y estructura
		Realizar ajuste, limpieza y lubricación de componentes de compuerta lateral
		Revisar estado de empaque de sellado de compuerta lateral y ajustar
		Revisar estado de empaques de sellado en los diferentes puntos de la estructura
		Revisar estado de placas protectoras internas, limpiar ajustar
		Revisar estado de cortinas de neopreno internas y ajustar
		Ajustar y limpiar guardas en general de la estructura
		MANTENEIMIENTO SISTEMA MECÁNICO Y ESTRUCTURAL 18 MESES
		Cambiar aceite de transmisión de motorreductores
		Tamizar granalla de tolva
		Cambiar correas de transmisión de turbinas
		Cambiar paletas de turbinas
		Cambiar codos de alimentación de turbina
		Cambiar tuercas de sujeción de placas internas
		Reforzar puntos débiles de banda tipo malla
SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO	INSPECCIÓN ELÉCTRICA MENSUAL	Medición de variables eléctricas en circuitos de potencia
		Inspección visual de estado de conductores eléctricos
		Verificación de fuentes de alimentación eléctrica
		Verificación de correcto funcionamiento de paros de emergencia e indicaciones luminosas

	MANTENIMIENTO SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO 4 MESES	Revisar estado de señalizaciones eléctricas y demarcación de elementos.
		Revisión, ajuste y limpieza de interruptor principal
		Revisión y ajuste de bornes de potencia en gabinete de control
		Revisión y ajuste de bornes de elementos de control
		Revisión y limpieza de cableado de potencia y de control
		Verificación de estado elementos de control en gabinete eléctrico
		Limpieza general de gabinete eléctrico
		Revisión y ajuste de elementos de mando (pulsadores, interruptores)
		Revisión ajuste y limpieza de variador de velocidad
		Revisión de hermeticidad de puerta de gabinete de control
		Revisión y limpieza de bobinas de electroválvulas
		Verificación de correcto funcionamiento de relés térmicos
		Revisión de coordinación elementos de protección de sistema eléctrico
		Revisión y limpieza superficial de motores eléctricos
		Revisión, ajuste y limpieza de borneras de potencia en motores eléctricos
MANTENIMIENTO SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO 18 MESES	Realizar termografía en circuito de potencia	
	Verificación de variables eléctricas y eficiencia de motores (Temperatura, aislamiento, impedancia, corriente)	

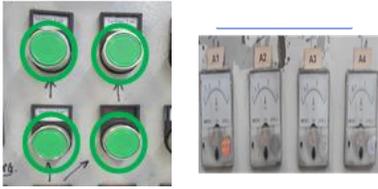
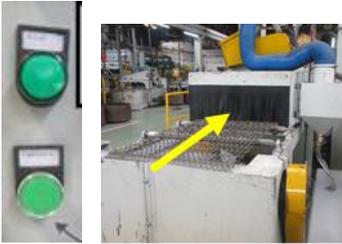
Tabla 8. Tareas de mantenimiento GB01

INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN Y LIMPIEZA GRANALLADORA GB01	
1. Abrir compuerta de inspección de cámara de granallado y verificar la ausencia de elementos extraños en su interior. Cerrar nuevamente.	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2. Abrir válvula de alimentación de aire comprimido.	
3. Abrir llave de aire sistema de soplado de filtros. Verificar que la presión este entre 60 y 90 psi.	
4. Encender interruptor automático principal.	
5. Desactivar paros de emergencia.	
6. Encender sistema de control girando el interruptor de llave. Verificar que el piloto luminoso <u>Power Led</u> se encienda.	
7. Encender ventilador de extractor de polvo, presionando el pulsador <u>Fan On</u> verificar que el piloto luminoso ubicado arriba del pulsador y el ventilador enciendan.	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

<p>8. Encender sistema de soplado de filtros presionando el pulsador <u>Pulse On</u>, verificar que el piloto luminoso ubicado arriba del pulsador y el contador digital de soplado enciendan.</p>	
<p>9. Encender motor de elevador de cangilones presionando el pulsador <u>Elevador On</u>, verificar que el piloto luminoso ubicado arriba del pulsador y el elevador de cangilones enciendan.</p>	
<p>10. Encender motor de tornillo transversal presionando el pulsador <u>Horizontal screw On</u>, verificar que el piloto luminoso ubicado arriba del pulsador y el motorreductor del tornillo transversal enciendan.</p>	
<p>11. Encender motor de tornillo longitudinal presionando el pulsador <u>Vertical screw On</u>, verificar que el piloto luminoso ubicado arriba del pulsador y el motorreductor del tornillo longitudinal enciendan.</p>	
<p>12. Encender motores de turbinas presionando secuencialmente los pulsadores <u>Turbine 1 On</u>, <u>Turbine 2 On</u>, <u>Turbine 3 On</u>, y <u>Turbine 4 On</u>, verificar que los indicadores de corriente ubicados arriba de los pulsadores muestren corriente no superior a 25 Amperios</p>	
<p>13. Encender banda transportadora tipo malla, presionando el pulsador <u>Conveyor On</u>, verificar registro de frecuencia en variador de velocidad y que el motorreductor de la malla encienda y esta se mueva.</p>	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

<p>14. Colocar el producto a granallar sobre la malla y accionar las compuertas de suministro de granalla presionando el pulsador <u>Shot supply valve On</u>, verificar que los actuadores neumáticos abran las compuertas y que la granalla baje por las mangueras de las compuertas hacia las turbinas, asegurándose que los indicadores de corriente no superen los 25 Amperios</p>	
<p>15. Esperar el producto a la salida de la cámara de granallado y retirarlo de la banda transportadora tipo malla.</p>	
<p>16. Al terminar de granallar los productos requeridos, presionar el pulsador <u>Shot supply valve Off</u>, verificando que los actuadores de las compuertas vuelvan a su estado inicial, cerrando el flujo de granalla hacia las turbinas.</p>	
<p>17. Esperar aproximadamente 40 segundos para garantizar que la granalla que se encuentre en los tornillos trasportadores y los cangilones llegue hasta la tolva. Pasado este tiempo apagar secuencialmente todos los sistemas desde los pulsadores rojos en el orden contrario del encendido.</p>	
<p>18. Cerrar válvula de suministro de aire a sopladores y válvula de suministro principal de aire comprimido.</p>	
<p>19. Abrir la compuerta lateral de inspección y verificar que no queden productos u objetos extraños al interior de la cámara de granallado</p>	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

<p>20. Abrir la compuerta de colector de polvo y verificar que la compuerta de vaciado de polvo quede despejada y libre, retirando los residuos recogidos por el recipiente ubicado debajo de la compuerta.</p>	
<p>21. Realizar limpieza superficial al área de operación, incluyendo piso y elementos de maniobra del proceso.</p>	

Tabla 9. Instructivo de operación y limpieza GB01

PLAN DE ENTRENAMIENTO	
TEMA	PUBLICO OBJETIVO
Aplicación de fases 1-6 de metodología RCM en Granalladora GB01.	Personal del area de Mantenimiento Bonem
Instructivo de operación y limpieza de Granalladora GB01	Personal del area de Mantenimeinto Bonem Personal operador de proceso de granallado

Tabla 10. Plan de formación y entrenamiento GB01

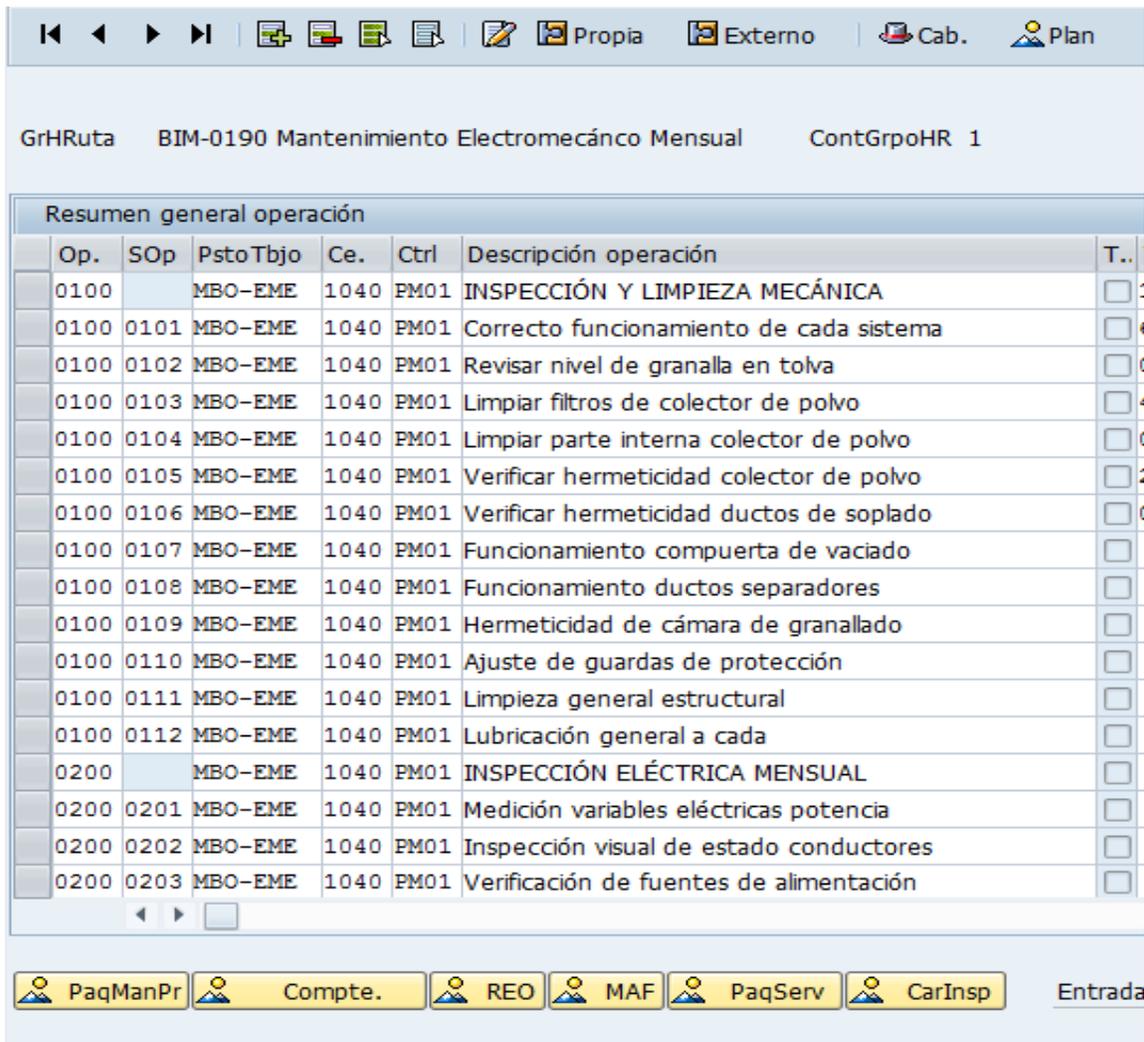
Fase 7: Puesta en marcha de medidas preventivas

Medidas preventivas y acciones de mejora derivadas del RCM:

1. Tareas de mantenimiento

Se da inicio a programación en el área de mantenimiento de ruta de lubricación semanal, plan de mantenimiento electromecánico mensual, plan de mantenimiento electromecánico 4 meses y plan de mantenimiento electromecánico 18 meses. Cada plan de mantenimiento se programa en SAP y se genera una orden dependiendo de la frecuencia. Los técnicos de mantenimiento reciben el documento generado por la orden, en el cual se confirma la ejecución cada actividad listada y se redactan las observaciones producto del mantenimiento. Estas observaciones se digitan en la orden virtual y quedan grabadas en SAP.

En la siguiente imagen se observa el instructivo de la orden de trabajo que SAP genera para el mantenimiento electromecánico mensual.



Resumen general operación							
Op.	SOp	Psto Tbj	Ce.	Ctrl	Descripción operación	T..	
0100		MBO-EME	1040	PM01	INSPECCIÓN Y LIMPIEZA MECÁNICA		
0100	0101	MBO-EME	1040	PM01	Correcto funcionamiento de cada sistema		
0100	0102	MBO-EME	1040	PM01	Revisar nivel de granalla en tolva		
0100	0103	MBO-EME	1040	PM01	Limpiar filtros de colector de polvo		
0100	0104	MBO-EME	1040	PM01	Limpiar parte interna colector de polvo		
0100	0105	MBO-EME	1040	PM01	Verificar hermeticidad colector de polvo		
0100	0106	MBO-EME	1040	PM01	Verificar hermeticidad ductos de soplado		
0100	0107	MBO-EME	1040	PM01	Funcionamiento compuerta de vaciado		
0100	0108	MBO-EME	1040	PM01	Funcionamiento ductos separadores		
0100	0109	MBO-EME	1040	PM01	Hermeticidad de cámara de granallado		
0100	0110	MBO-EME	1040	PM01	Ajuste de guardas de protección		
0100	0111	MBO-EME	1040	PM01	Limpieza general estructural		
0100	0112	MBO-EME	1040	PM01	Lubricación general a cada		
0200		MBO-EME	1040	PM01	INSPECCIÓN ELÉCTRICA MENSUAL		
0200	0201	MBO-EME	1040	PM01	Medición variables eléctricas potencia		
0200	0202	MBO-EME	1040	PM01	Inspección visual de estado conductores		
0200	0203	MBO-EME	1040	PM01	Verificación de fuentes de alimentación		

Ilustración 15. Instructivo de mantenimiento electromecánico mensual en SAP GB01

2. Planteamiento de plan de entrenamiento al área de mejoramiento continuo

Se comparte con el área de mejoramiento continuo el instructivo de operación y limpieza de la granalladora GB01, el cual se documenta en los estándares del proceso y se socializa con los operadores y técnicos de mantenimiento. El área de mejoramiento continuo es la encargada de garantizar que este documento sea socializado con el personal nuevo en el proceso.

En la siguiente ilustración, se observa el documento físico del instructivo de operación y limpieza implementado gracias a la metodología RCM.

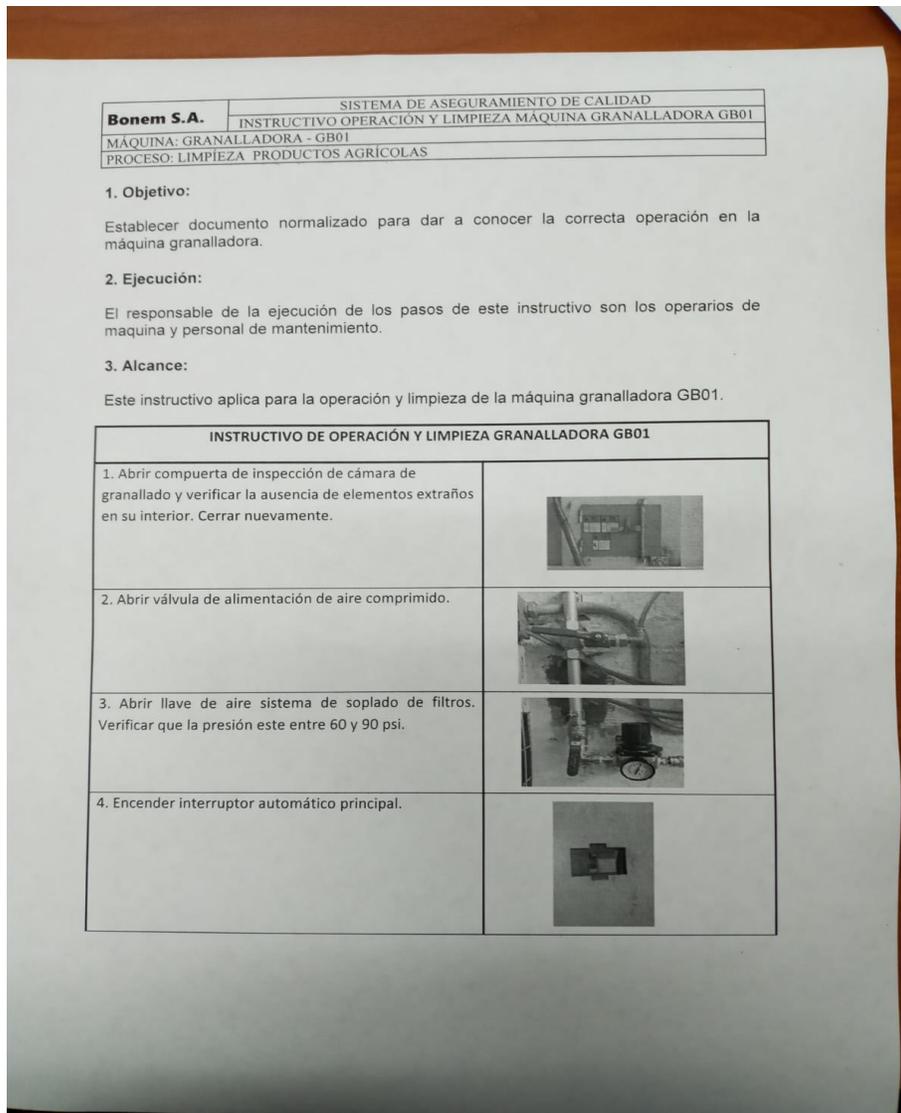


Ilustración 16. Documento generado para el instructivo de operación y limpieza GB01

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3. Propuestas de mejoras por medio de LUP'S (Lección de un punto).

Se elaboran LUP'S de propuestas y mejoras realizadas en los sistemas de la máquina. Este documento se guarda en una carpeta física del área de mantenimiento y en un archivo digital con información de la máquina. Se realizan mejoras en el sistema eléctrico, y se propone mejora en el sistema de transporte de piezas para mejorar la alineación de la banda tipo malla.

En la ilustración 17 observamos una LUP en la cual quedo documentada una modificación en el sistema de control eléctrico, después de detectar una oportunidad de mejora.

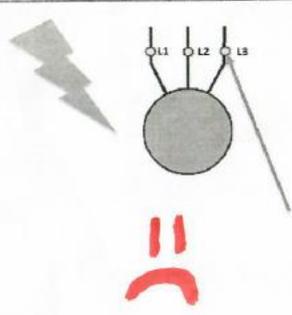
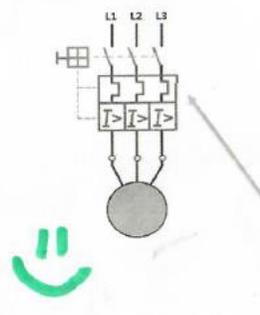
LECCIÓN DE UN PUNTO					Bonem ^{CS}
Número: 02		Preparó: Felipe Borja Granada			
FECHA: Enero 2020		Revisó (Jefe de Área): <i>POULIN HERNANDEZ C.</i>			
Equipo: HUELLAS		Validó (Experto en el tema): <i>F. BORJA GRANADA</i>			
LUP Originada en:	Resp. Rápida Medio Ambiente	Audit. Escalonada 5'S	Calidad Entregas	Productividad SISO	
TEMA	PROTECCIÓN DE TURBINAS G801	CLASE	Conocimiento Básico	Mejora Implementada	Solución de Problemas
ANTES		AHORA			
<p>AL ANALIZAR LAS CONEXIONES DE LA GRANALLADORA, SE ENCONTRÓ QUE LOS MOTORES DE LAS TURBINAS NO ESTABAN PROTEGIDOS ANTE UNA SOBRECARGA, YA QUE LOS RELS TERMICOS NO TENIAN LA CONEXIÓN CORRECTA.</p>		<p>SE CORRIGIERON LAS CONEXIONES DE LOS RELS QUE PROTEGEN CADA MOTOR, GARATIZANDO QUE LOS DISPAROS POR SOBRECARGAS, APAGUEN EL CIRCUITO.</p>			
 <p style="text-align: right;">RIESGO DE SOBRECARGA</p>		 <p style="text-align: right;">PROTECCIÓN PARA SOBRECARGA</p>			
Seguimiento de la formación	Fecha:	<i>F. Borja Granada</i>		<i>Pablo E. Rivera Lopez</i>	
	Entrenados:	<i>Rena</i>		<i>Rubén</i>	
		<i>Imelda Valencia</i>		<i>Sebastian Carvajal</i>	
		<i>Xelmu</i>		<i>F. Willy</i>	
					FIP-057

Ilustración 17. LUP de mejora en sistema de control eléctrico

Al ponerse en marcha la metodología RCM y dar inicio a la ejecución de las medidas preventivas, se observa una gran disminución en el número de fallas del equipo como se puede observar en el Pareto de averías de la compañía ilustrado a continuación.

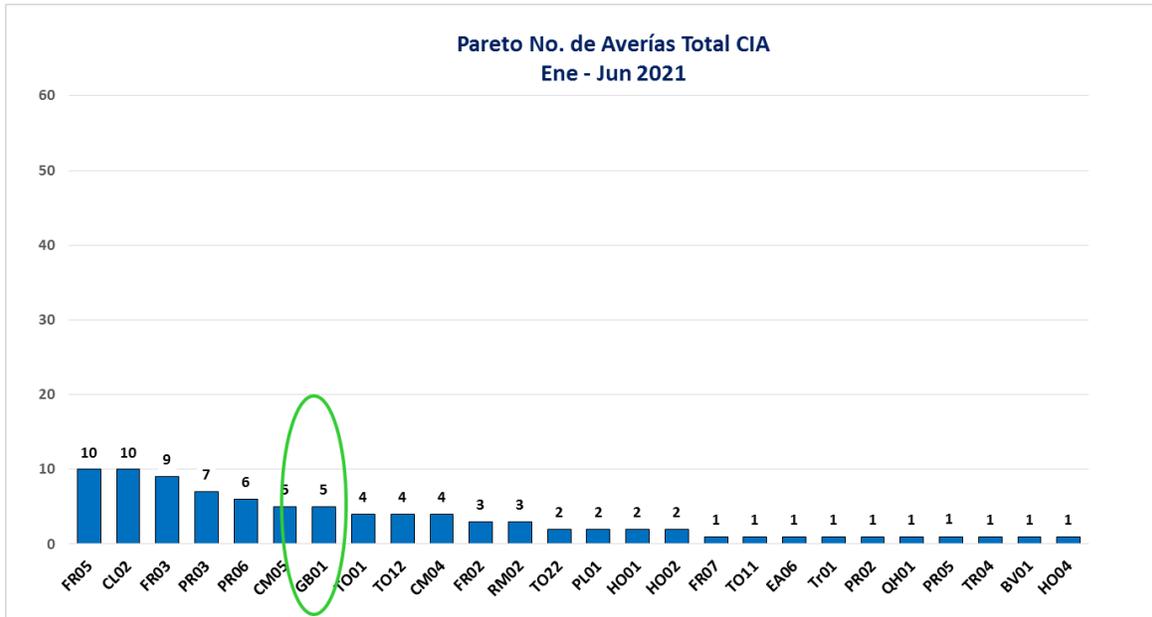


Ilustración 18: Pareto de averías Enero a Julio 2021

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Conclusiones

- La implementación de la metodología RCM en el proceso de granallado de la planta agrícola en Bonem, permite construir un plan de mantenimiento efectivo en la prevención de fallas del equipo, ya que abarca todos los componentes de la Granalladora, analizando las formas en que estos están fallando y aumentar la confiabilidad del proceso.

- La medición de los paros por averías en el proceso y el levantamiento de indicadores son claves para el enfoque y la solución de las fallas, establecer las frecuencias en el plan de mantenimiento, controlar las posibilidades de falla y mejorar los sistemas del proceso para aumentar la confiabilidad del equipo.

- La recopilación de los datos técnicos del proceso y la clasificación de los sistemas, permiten tener una visión estructurada del equipo y controlar el comportamiento de cada uno de ellos, por lo cual se puede hacer un enfoque preciso para eliminar la raíz de cada falla. Algunos componentes por su ubicación en la máquina se deben registrar al momento de hacer intervenciones profundas en el equipo.

- En el análisis de fallas, lo más importante es conocer la causa de la falla, y posteriormente analizar las posibilidades de que esta falla ocurra. Con base en estas probabilidades generar medidas preventivas que eviten las causas de las fallas.

- El planteamiento de las medidas preventivas se debe realizar teniendo en cuenta el control de los costos de mantenimiento y la capacidad del personal de las áreas involucradas. Las medidas deben evitar fallas que tengan consecuencias verdaderamente críticas en el proceso.

- La agrupación de las medidas preventivas involucra a diferentes áreas de la compañía, por lo cual requiere de una buena conexión entre ellas y una buena planeación para llevar a cabo las actividades.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Elaborar documentos para el registro de las medidas preventivas, es un material clave para las personas involucradas en la implementación de la metodología, sirve de material de enseñanza para el personal nuevo y antiguo de las diferentes áreas. Es la mejor manera de hacer la solicitud a la gerencia de las mejoras que requieran un alto costo. Así mismo la inclusión de los documentos levantados como los instructivos de mantenimiento, operación y limpieza en los estándares de cada proceso, garantiza que estas medidas se sigan ejecutando con el tiempo.

Recomendaciones

- Es de suma importancia el levantamiento de información de componentes ocultos, cuando se realicen desensambles profundos de los diferentes sistemas, ya que estos pueden tener posibilidades de falla no evidenciadas durante este desarrollo.

- Debido a que cada modo de falla puede tener múltiples causas, es importante analizar las fallas potenciales y evitar las posibilidades de ocurrencia, ya que por el contrario sería muy complicado incluir en el análisis las posibles causas que puedan existir porque una causa siempre tendrá otra.

- En el desarrollo de la metodología RCM, es indispensable la información técnica como manuales de operación y mantenimiento, planos técnicos, fichas técnicas. En un caso similar al desarrollo del presente trabajo, el cual la información suministrada era insuficiente, se requiere la intervención técnica en la máquina para el levantamiento de los datos necesarios.

Trabajo a futuro

- La implementación del RCM en el proceso de granallado, será un piloto en la compañía para su aplicación en los procesos más críticos de las plantas. Se espera con aprobación de la gerencia de Bonem aplicar la metodología en las máquinas más críticas de las plantas y entrenar al personal de mantenimiento en esta metodología.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Levantar indicador de fallas por sistemas del proceso, en el cual se pueda analizar hoy en día cada cuanto falla un componente y ajustar las frecuencias en los planes de mantenimiento con base a los resultados.
- Realizar las mejoras y modificaciones en los sistemas de la máquina que se requieran, las cuales eliminen la causa raíz de fallas potenciales que estén ocurriendo.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

REFERENCIAS

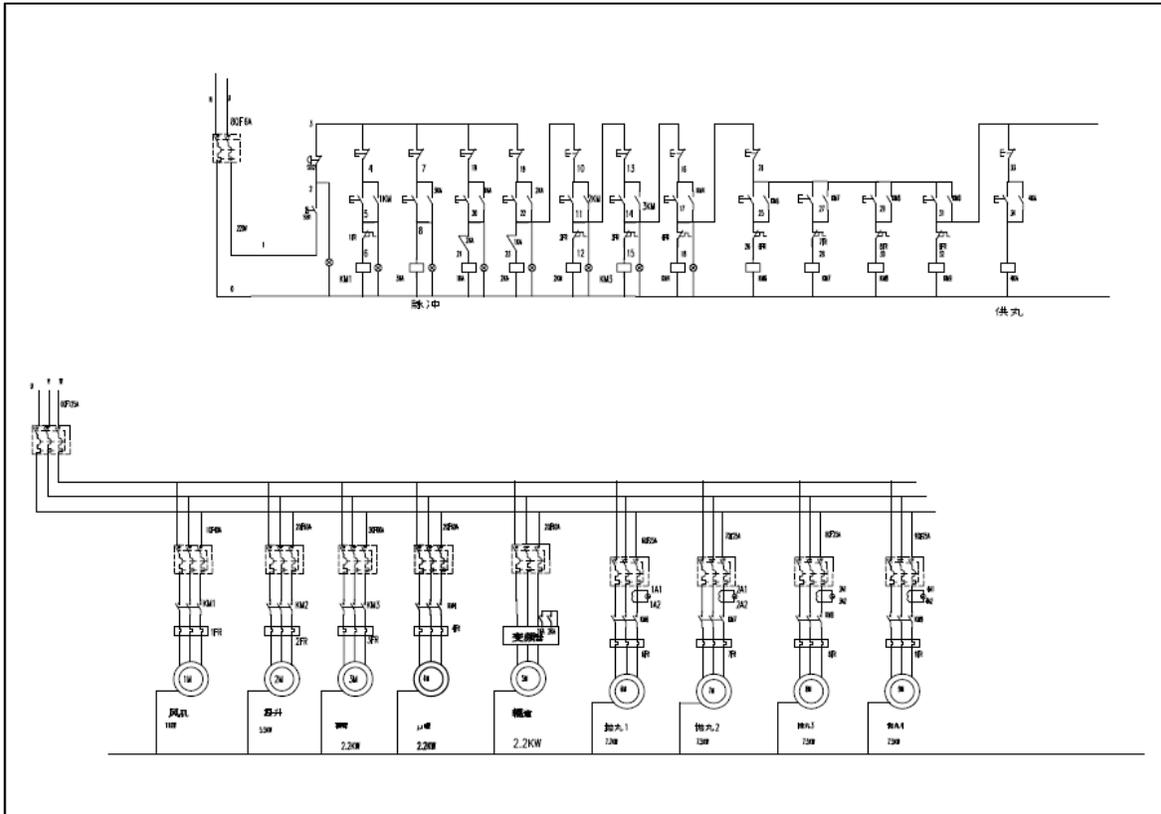
- Altmann, C. (2005). *El análisis de aceite como herramienta del Mantenimiento Proactivo en flotas de Maquinaria Pesada*. Montevideo: 1° Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de activos y confiabilidad.
- Bonem. (2018). *Productividad*. Medellín.
- Bonem S.A. (2020). *Historia de Bonem*. Obtenido de Bonem S.A.: <https://www.bonem.com.co/la-compania/historia/>
- Cook, T. D., & Reichardt, C. S. (1986). Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa. En T. D. Cook, & C. S. Reichardt, *Qualitative and quantitative methods in evaluation research* (págs. 1-17). Madrid: Ediciones Morata, S. L.
- Cym materiales S.A. (s.f.). *Cym materiales S.A soluciones industriales*. Obtenido de ¿Que es el proceso de granallado para estructuras metálicas?: <https://cym.com.ar/faqs/que-es-el-proceso-de-granallado-para-estructuras-metalicas/>
- Cym materiales S.A. (s.f.). *Introducción al proceso de granallado*. Obtenido de <http://cym.com.ar/intranet/Introduccion-general-proceso-granallado-cym-shot-blasting.pdf>
- Duque, F. V. (1998). El mantenimiento como estrategia competitiva. *Facultad de ingeniería*, 7-13.
- García, S. (2010). *LA CONTRATACIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL*. Ediciones Diaz de Santos.
- Idhammar, C. (2006). *Results Oriented Reliability & Maintenance Management*. Obtenido de IDCON INC.: <https://www.tappi.org/content/events/10pirm/paper/idhammar.pdf>
- Lefcovich, M. (2009). *TPM mantenimiento productivo total: un paso más hacia la excelencia empresaria*. Obtenido de www.ilustrados.com: <http://www.ilustrados.com/documentos/mantenimientoproductivototal.doc>
- Molina, J. (2006). *Mantenimiento y seguridad industrial*. Obtenido de <http://ugr.unsl.edu.ar/documentos/Mantenimiento%20Industrial.doc>
- Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. Mexico: Alfaomega grupo editor S.A.
- Moubray, J. (1992). *Reability-centered maintenance. second edition*. New York: Industrial Press INC.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

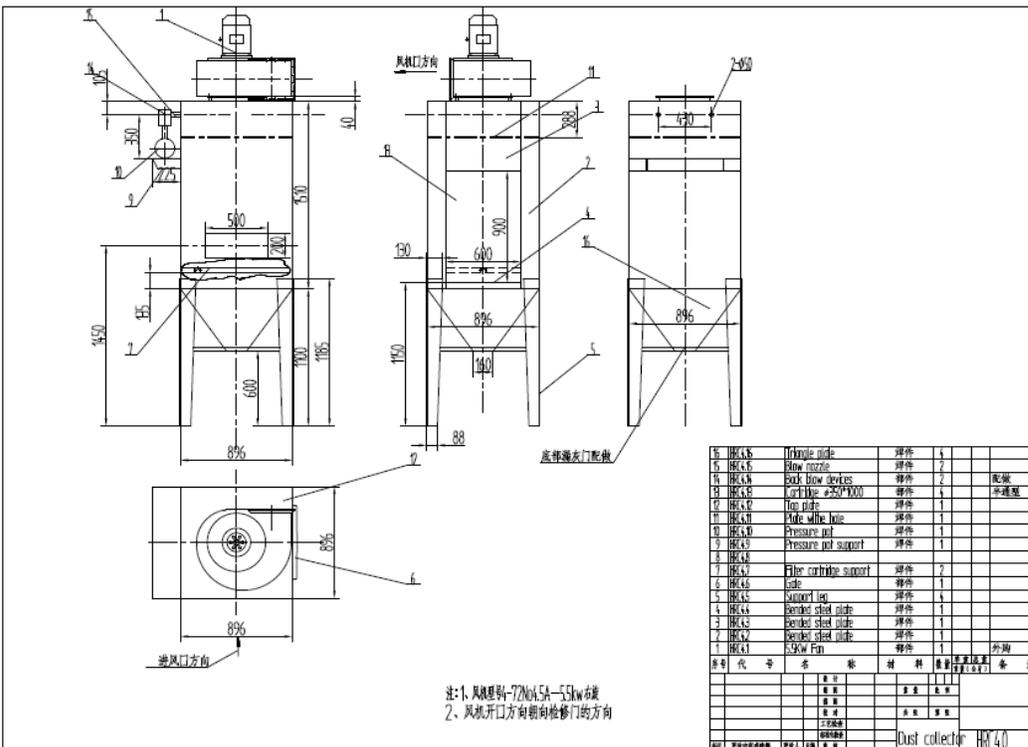
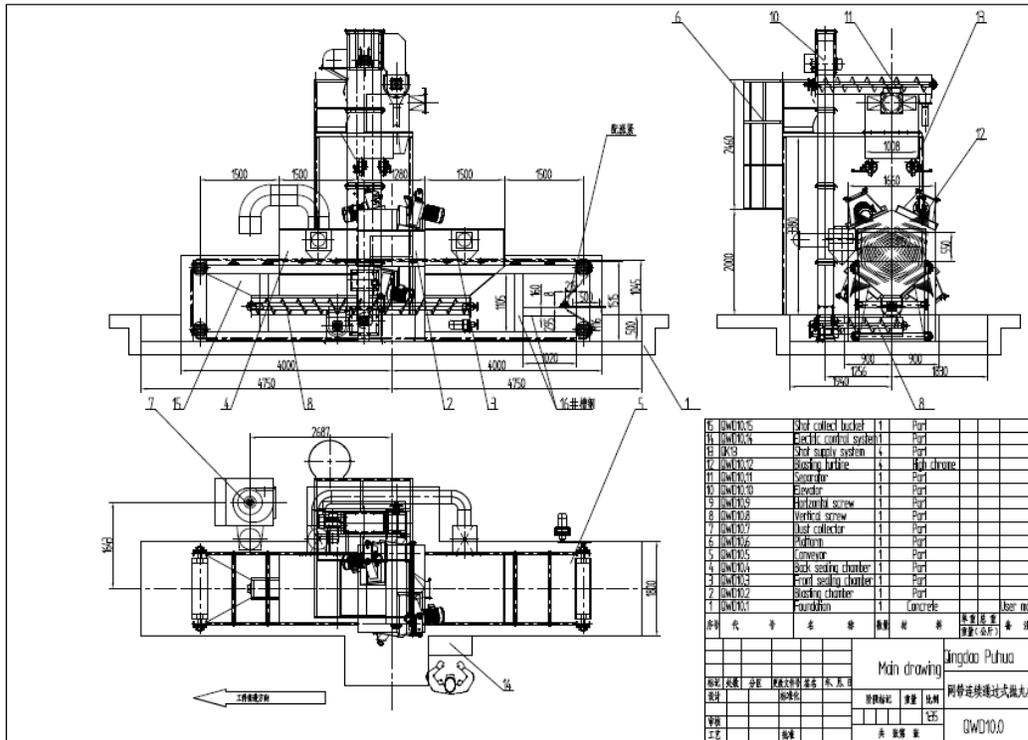
- Nieto, S. (27 de Mayo de 2009). *Mantenimiento Industrial*. Obtenido de <http://mantenimientosindustriales2009.blogspot.com/2009/05/historia-del-mantenimiento.html>
- Nowlan, S., & Heap, H. (1978). *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*. San Francisco: U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE.
- RCM3. (2016). *UN PROBLEMA DE ENFOQUE: ¿APLICAR RCM A EQUIPOS CRÍTICOS O A TODOS LOS EQUIPOS DE LA PLANTA?* Obtenido de RCM3: <http://rcm3.org/144>
- Reliabilityweb.com. (2020). *El camino hacia el RCM*. Obtenido de Reliabilityweb.com: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-camino-hacia-el-rcm/>
- Rendon, M. A. (5 de Diciembre de 1997). Implementación del mantenimiento productivo total. *Tesis*. San Nicolás de los Garza, N.L., Nuevo Leon, Mexico.
- SAE JA1012. (Enero de 2002). *PRACTICAS RECOMENDADAS PARA VEHICULOS AEROESPACIALES Y DE SUPERFICIE*.
- Souris, J.-P. (1992). *Mantenimiento: Fuente de Beneficios*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Surfat S.A. (2013). *Surfat S.A.* Obtenido de <http://www.surfat.es/arenado-y-granallado/>
- Suzuki, T. (1995). *TPM EN INDUSTRIAS EN PROCESO*. Madrid: TGP Hoshin.
- Turner, S. (2002). *PMO – Optimización de Mantenimiento Planeado (Planned Maintenance Optimisation)*. Obtenido de OMCs Latin America: https://www.maintenance.org/fileSendAction/fcType/0/fcOid/399590942963630232/filePointer/399590942964798778/fodoid/399590942964798776/PMO_Analisis_del_futuro.pdf
- Villanueva, E. D. (2014). *La productividad en el mantenimiento industrial*. Mexico: Grupo editorial Patria.
- www.rcm-confiabilidad.com. (30 de Octubre de 2005). *RCM - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Obtenido de file:///C:/Users/WIN/Desktop/MATERIAL%20TRABAJO%20DE%20GRADO/articulos/RCM_Scorecard_overview.pdf

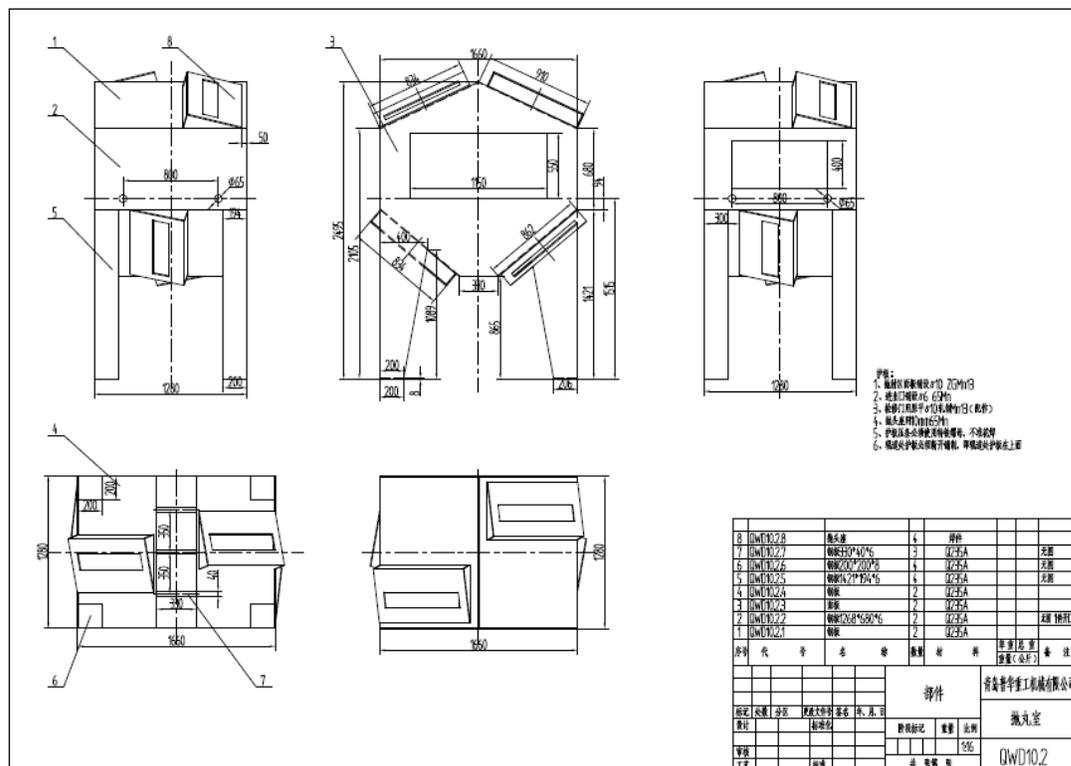
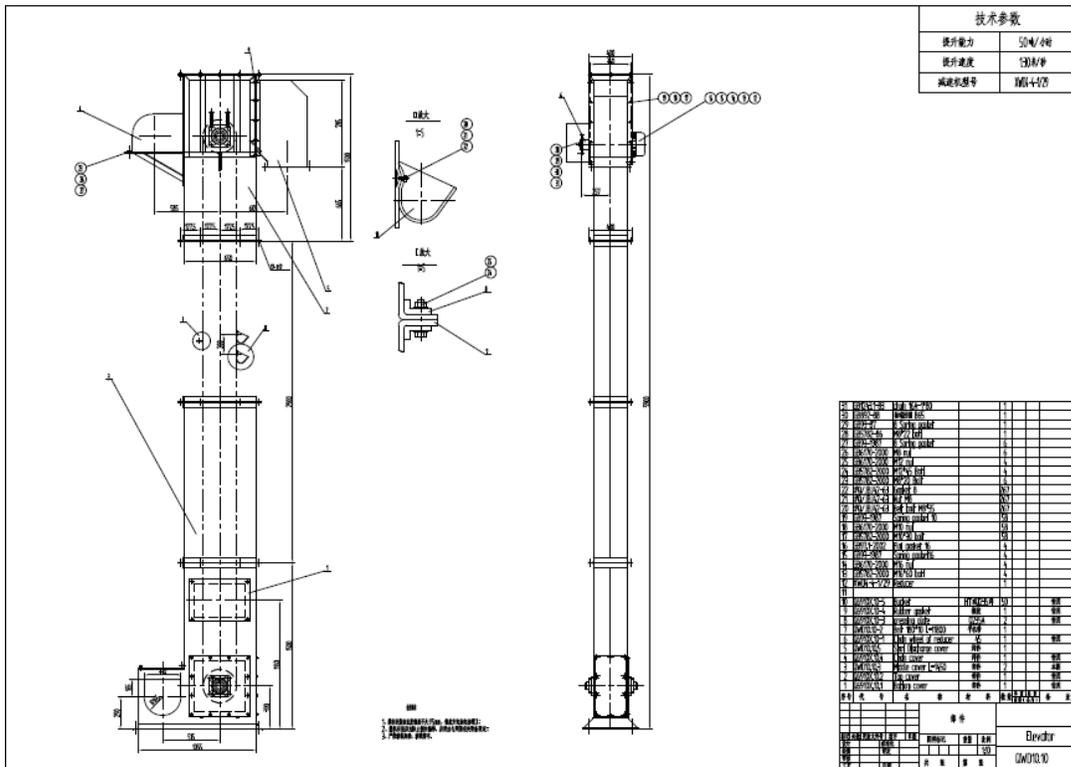
ANEXOS

Anexo A: Plano de control eléctrico y potencia eléctrica



Anexo B: Planos mecánicos y estructurales





 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

FIRMA ESTUDIANTES	 _____
FIRMA ASESORES	 _____
FECHA ENTREGA: <u>07/09/21</u>	