

**Propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM II para una planta de
asfalto Benninghoven ECO 2000 de la empresa Compañía de Trabajos Urbanos**

Álvaro Camilo Villalobos Preciado, Carlos Arturo Parra Mogollón

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI, Especialización en Gerencia de
Mantenimiento

FRED GEOVANNY MURILLO RONDON

Bogotá 2022

**Propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM II para una planta de
asfalto Benninghoven ECO 2000 de la empresa Compañía de Trabajos Urbanos**

Álvaro Camilo Villalobos Preciado

Código estudiantil: 99998

Carlos Arturo Parra Mogollón

Código estudiantil: 83929

Director: Msc Fred Geovanny Murillo R

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI, Especialización en Gerencia de

Mantenimiento

Bogotá 2022

Dedicatoria

Agradecemos a nuestros padres esposa e hijos por el apoyo y paciencia brindada al largo de la especialización, a Dios y sobre todo a al profesor quien con su tiempo dedicación experiencia y aporte nos guio para lograr sacar el proyecto adelante y culminar de manera satisfactoria el trabajo de grado, cumpliendo un sueño más en la vida profesional

Agradecimientos

Como agradecimiento lo expresamos a Dios, quien con su bendición ayudo a que toda nuestra familia hiciera parte de este proceso de logro profesional, también agradecemos al profesor Fred, quien con su desempeño nos orientó de la mejor manera para lograr una investigación profunda en el área de mantenimiento.

Tabla de contenido

1	Título de la investigación	13
2	Problema de investigación	14
2.1	Descripción del problema	14
2.2	Planteamiento del problema	15
2.3	Sistematización del problema	15
3	Objetivos de la investigación	16
3.1	Objetivo General	16
3.2	Objetivos Específicos	16
4	Justificación y delimitación	17
4.1	Justificación	17
4.2	Delimitación	18
4.3	Limitaciones	18
5	Marco conceptual	19
5.1	Estado del arte	19
5.1.1	Estado del arte Nacional	19
5.1.1.1	Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial	19
5.1.1.2	Gestión de activos enfocado hacia la confiabilidad o determinación del TPEF (Tiempo promedio entre fallas en equipos y/o sistemas)	20

	5
5.1.1.3 betúntenimiento con planeación estratégica	20
5.1.2 Estado del arte internacional	20
5.1.2.1 Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo	20
5.1.2.2 Modelo para detección y simulación de fallas bajo la gestión de mantenimiento y proyectos	21
5.1.2.3 Implantación de un sistema de mantenimiento preventivo para el aumento de la eficiencia de la maquinaria en una planta de fundición	21
5.1.2.4 El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional	22
5.1.2.5 contribución del mantenimiento centrado en la confiabilidad para el estudio de fallos a equipos consumidores de energía eléctrica	23
6.0 Marco Teórico	24
6.1 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	24
6.2 Confiabilidad	25
6.3 Análisis de modos y Efecto de falla (AMEF)	26
6.4 Análisis de criticidad	27
6.5 Normas SAE JA1011 y JA1012	28
6.6 Marco normativo y legal	28
6.7 Marco histórico	29
7.0 Diseño Metodológico	30

	6
7.1 Cronograma	30
7.2 Recolección de la información	30
7.2.1 Tipo de Investigación	30
7.2.2 Fuentes de obtención de la información	31
7.2.2.1 Fuentes Primarias	31
7.2.2.2 Fuentes Secundarias.	31
7.2.3 Herramientas de Análisis	31
7.2.4 Metodología	31
7.2.5 Recolección de la información	33
8.0 Propuesta de Solución	41
8.1 Estado actual de los sistemas y componentes de la planta de asfalto más críticos.	
41	
8.1.1 Contexto Operacional	41
8.1.2 Matriz de Criticidad	43
8.2 Componentes mantenibles más críticos de la planta y sus parámetros normales de funcionamiento en los diferentes sistemas.	60
8.2.1 Funciones Sistema elevador de Cangilones en Caliente	60
8.2.2 Fallas funcionales	61
8.2.3 Modos de falla	62

8.3	Actividades de mantenimiento para establecer la rutina adecuada al sistema de elevador de cangilones en caliente	70
8.3.1	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	71
8.3.1.1	Comprobar ruidos de choque. Tensar la cadena y acortarla si procede	71
8.3.1.2	Medir espesores de los bujes de la cadena con un medidor ultrasónico y sustituir si procede	71
8.3.1.3	Medir el desgaste del cangilón y sustituir si procede	72
8.3.1.4	Renovar la grasa de los rodamientos de accionamiento	72
8.3.1.5	Medir desgaste de superficie de contacto rueda segmentada sin dientes	73
8.3.1.6	Limpiar transductor de pulsos	74
8.3.1.7	Medir desgaste de superficie de contacto rueda segmentada sin dientes	74
8.3.1.8	Cambiar el aceite de engranajes del motorreductor de accionamiento	74
8.3.1.9	Verificar desgaste de los pasadores de sujeción del elevador al chasis	75
8.3.1.10	Análisis de Vibraciones de rodamientos y muestra de aceite del motorreductor	75
9	Análisis Financiero	76
10.	CONCLUSIONES	79
11	Bibliografía	81

Lista de Tablas

Tabla 1 Marco Normativo.....	29
Tabla 2 Taxonomía sistema de elevador de cangilones.....	40
Tabla 3 criterios de consecuencias.....	56
Tabla 4 criterios de evaluación de frecuencia.....	57
Tabla 5 matriz de criticidad 1	57
Tabla 6 Matriz de criticidad 2.....	58
Tabla 7 evaluación de consecuencias en los sistemas de la planta	58
Tabla 8 evaluación de frecuencia en los sistemas de la planta	59
Tabla 9 Funciones del sistema de elevador de cangilones en caliente	60
Tabla 10 Fallas funcionales	61
Tabla 11 Modos de falla función Transportar Agregados desde el tambor secador hasta la criba a una razón de 123 T/h.....	62
<i>Tabla 12 Modos de falla función Contener los agregados dentro del conducto un 100%</i>	63
<i>Tabla 13 Modos de falla función Mantener el conducto en posición vertical sin vibraciones mayores</i>	64

Tabla 14 Inversión proyecto	76
Tabla 15 calculo ganancia obtenida por implementación.....	78

Lista de Figuras

Figura 1 Criba planta de asfalto.....	33
Figura 2 Sistema de Pesaje planta de asfalto	34
Figura 3 Mezclador planta de asfalto.....	35
Figura 4 Tolvas de dosificación previa planta de asfalto.....	35
Figura 5 sistema de granulado planta de asfalto	36
Figura 6 Sistema de RC planta de asfalto	37
Figura 7 Elevador de Cangilones.....	38
Figura 8 Tanques de Asfalto.....	39
Figura 9 Sistema de eliminación de polvo.....	39
Figura 10 Tambor secador	40
Figura 11 Contexto operacional esquema planta de asfalto	41
Figura 12 Grupo de dosificación	44
Figura 13 Tambor de secado completo.....	45
Figura 14 Bastidor completo tambor secador	46
Figura 15 Despiece general del quemador.....	47
Figura 16 Esquema general sistema eliminación de polvo.....	48
Figura 17 Esquema general torre de mezcla y cribado.....	49

Figura 18 esquema general silo de carga mixto.....	50
Figura 19 esquema general sistema suministro de material de llenado	51
Figura 20 esquema general sistema suministro de betún.....	52
Figura 21 esquema general sistema de adición en frío	53
Figura 22 esquema general sistema de aire comprimido.....	54
Figura 23 esquema general sistema de alimentación de granulado	55
Figura 24 Cadena elevador de cangilones	64
Figura 25 cangilón	65
Figura 26 Rueda segmentada sin dientes	65
Figura 27 Chumacera rodamiento rueda segmentada sin dientes.....	66
Figura 28 sensor de control de velocidad	67
Figura 29 Rueda segmentada dentada.....	67
Figura 30 rodamiento rueda dentada segmentada lado motorreductor	68
Figura 31 rodamiento rueda dentada segmentada lado opuesto motorreductor	69
Figura 32 Curva P-F.....	77
Figura 33 Curva P-F VS costos de reparación.....	77

En el presente trabajo se desarrolla la propuesta de mantenimiento para la planta de asfalto Benninghoven ECO 2000 de la empresa Compañía de Trabajos Urbanos, en la cual, actualmente no cuenta con una gestión de mantenimiento adecuada y se dificulta llevar la trazabilidad de mantenimiento de cada uno de los sistemas y subsistemas que la componen, impidiendo llevar adecuadamente las actividades de mantenimiento y se invierte poco tiempo en ellas, para ello se busca establecer unas rutias de mantenimiento adecuadas, con el propósito de hacer la inversión en software de mantenimiento, que brinden un apoyo en los procesos de la empresa, para brindar una mayor disponibilidad del equipo basado en RCMII, y de esta manera controlar adecuadamente las intervenciones realizadas y llevar un control exhaustivo de las piezas de desgaste, para ello, se establecieron tres objetivos que permitan establecer los procedimientos para detectar el estado mas critico de los sistemas de la planta de asfalto, y de esta manera identificar cual es el componente mas critico el cual se debe evaluar, con el fin de brindarle mayor confiabilidad y disponibilidad durante su operación.

Palabras clave: Mantenimiento, Disponibilidad, RCM o Reliability Centred Maintenance, Confiabilidad, Asfalto, Tolva, Grava, Falla.

Abstract

In the present work, the maintenance proposal for the Benninghoven ECO 2000 asphalt plant of the Compañía de Trabajos Urbanos company is developed, in which, currently, it does not have an adequate maintenance management and it is difficult to carry the maintenance traceability of each one of the systems and subsystems that compose it, preventing the maintenance activities from being properly carried out and little time is invested in them, for this purpose it is sought to establish adequate maintenance routines, with the purpose of making the investment in maintenance software, which provides a support in the processes of the company, to provide greater availability of the equipment, and in this way adequately control the interventions carried out and carry out an exhaustive control of the wear parts, for this, three objectives were established that allow establishing the procedures to detect the most critical state of the asphalt plant systems, and thus identify which is the most critical component which must be evaluated, in order to provide greater reliability and availability during its operation

KeyWords: Maintenance, Availability, RCM or Reliability Centered Maintenance, Reliability, Asphalt, Hopper, Gravel, Failure

Introducción

Hoy en día el mantenimiento se considera uno de los métodos más importantes para conservar y preservar la vida útil y disponibilidad de los equipos, para ello se han venido implementando a lo largo del tiempo, diferentes métodos de mantenimiento, con el fin de brindar una óptima operación, para ello la empresa **Compañía de Trabajos Urbanos S.A.S**, de ahora en adelante llamada **CTU** está en la búsqueda de la propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM II para una planta de asfalto Benninghoven ECO 2000, con el fin de mantener el equipo en óptimas condiciones de operación para la cual fue diseñado.

Esta búsqueda de la propuesta de mantenimiento se da, debido a la necesidad que hoy en día se presenta, ya que la empresa cuenta con una infraestructura definida y delimitada pero no cuenta con una actualización en medio informáticos, por lo que está quedando obsoleta, impidiendo llevar un control y trazabilidad adecuada, a la hora de controlar los mantenimiento preventivos y/o correctivos, al igual que el control sobre las piezas de desgaste, hoy en día, la empresa CTU, lleva su control de novedades o intervenciones mediante bitácora de uso, en la cual, se registran las fallas y/o novedades presentadas durante su trabajo, lo que dificulta llevar una trazabilidad adecuada a las fallas presentadas, generando que el personal invierta el tiempo necesario consultando esta bitácora, para ello se busca optimizar recursos tecnológicos, como la implementación de Software de mantenimiento, en la cual, permita generar ordenes de trabajo, control de indicadores, consumibles, asignar centro de costo, entre otros.

1 Título de la investigación

Propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM II para una planta de asfalto Benninghoven ECO 2000 de la empresa Compañía de Trabajos Urbanos

2 Problema de investigación

2.1 Descripción del problema

El Mantenimiento realizado en la compañía de trabajos Urbanos (CTU), la cual, se destaca por El desarrollo de obras de Infraestructura Vial Urbana y de Carreteras de la mano de producción de mezclas asfálticas, ha sido la actividad principal de Compañía de Trabajos Urbanos S.A.S. desde 1.930. Como resultado de su amplia trayectoria, CTU es la integración de todas las variables requeridas en la conformación de la cadena de ejecución necesaria para el desarrollo exitoso de un proyecto de infraestructura vial. La compañía CTU actualmente no tiene un plan definido, o muchas de las actividades no son registradas en una base de datos y suele realizarse de manera reactiva. Al realizarse de esta manera no se tiene una trazabilidad del proceso de mantenimiento, por lo cual, no se puede establecer cuáles son los tipos de falla que se presentan y cuál es la frecuencia con la que se presentan estas mismas, por lo cual debe dirigirse a una bitácora, en la cual, se deben registrar los datos y al ser registrados por personal de diferentes áreas o no concedores de mantenimiento, el vocabulario es diferente y no se utiliza una redacción desde el punto de vista técnico. Adicional a esto, no se cuenta con personal capacitado en labores de mantenimiento, lo cual, puede generar que al realizar ciertos trabajos se vea afectada la calidad de las intervenciones realizadas. Las principales deficiencias del equipo son, el fallo repentino de rodamientos y la ruptura de algunos ductos que están altamente expuestos a la fricción con agregados de construcción. Otro punto crítico para la operación es la metodología de trabajo que actualmente se tiene, por falta de conocimiento los operarios y trabajadores de mantenimiento intentan realizar cambio de componentes cuando se presenta una falla sin revisar el principio de funcionamiento de los diferentes sistemas de la planta. Al presentarse todas estas falencias no se tiene definido un plan de actividades ni de repuestos a

tener en Stock, así mismo, la planta de asfalto Benninghoven ECO 2000 es una planta muy versátil que se destaca por la flexibilidad óptima y se puede operar de manera estacionaria, sin embargo esta puede reubicarse sin dificultad, de igual manera, la ventaja de esta planta es el valor tecnológico que tiene ya que, su producción de asfalto se basa en el sistema de reciclaje, tecnología de combustión, sistema de control y tecnología del betún asfáltico (El betún asfáltico es producto de una mezcla orgánica con viscosidad alta, de alta densidad y color negro, y está conformado por hidrocarburos).

2.2 Planteamiento del problema

La pregunta de investigación es: ¿Cómo aumentar la confiabilidad de la planta por medio de un plan de mantenimiento estructurado basado en un análisis de RCM II a todos sus componentes mantenibles, así como lograr mejorar los procesos internos de mantenimiento?

2.3 Sistematización del problema

¿Cuál es el estado actual de los sistemas más críticos de la planta de asfalto?

¿Qué sistemas y componentes del equipo son críticos?

¿Cuál es el estado actual de los sistemas más críticos de la planta de asfalto?

¿Determinar las actividades de mantenimiento para establecer la rutina adecuada a sus sistemas y componentes más críticos?

3 Objetivos de la investigación

3.1 Objetivo General

Generar una propuesta para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de la planta de asfalto por medio de la implementación de un modelo de mantenimiento basado en la confiabilidad.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el estado actual de los sistemas y componentes de la planta de asfalto más críticos.
- Definir los componentes mantenibles más críticos de la planta y sus parámetros normales de funcionamiento en los diferentes sistemas.
- Realizar las actividades de mantenimiento para establecer la rutina adecuada a sus sistemas y componentes más críticos

4 Justificación y delimitación

4.1 Justificación

Dado que la empresa no cuenta con un plan estratégico de mantenimiento y los trabajos no cuentan con una trazabilidad, es de vital importancia generar un plan de actividades de mantenimiento que garanticen la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos de más alto impacto para la operación de la misma, buscando brindar una confiabilidad mayor a lo largo del ciclo de vida coordinando los mantenimientos preventivos dentro de los parámetros establecidos por los fabricantes, y de esta manera, dar prioridad a los trabajos que impliquen los mayores riesgos posibles según el respectivo análisis de criticidad de los activos, el activo de mayor criticidad es la planta de Asfalto ya que es el que genera la mayor cantidad de ingresos para la compañía. Aunque este activo es el de mayor importancia cuenta con poca información técnica y de mantenimiento, algunas de las actividades de mantenimiento se realizan por la familiarización que ha tenido el personal de operación y mantenimiento con la planta, es necesario fortalecer estas actividades por medio de un análisis de fiabilidad. para poder lograr esto uno de los pasos más importantes es lograr realizar una taxonomía bien detallada de los componentes mantenibles de la planta e implementar reuniones periódicas de mantenimiento donde se socialicen las diferentes fallas que se han presentado y que pueden presentarse en el futuro. Como punto de partida para el funcionamiento de este plan es establecer los parámetros normales de funcionamiento de los componentes mantenibles y esto lo podemos realizar por medio de técnicas de mantenimiento predictivo tales como análisis de vibraciones, termografía entre otros.

4.2 Delimitación

Este proyecto se desarrollará en la planta de asfalto de Compañía de Trabajos Urbanos Ubicada en el municipio de Chía, el inicio de este proyecto será a partir del primer trimestre del año 2021 donde se empezará a desarrollar la taxonomía de la planta y posteriormente se procederá a programar reuniones con personal de mantenimiento y producción para definir criticidades y modos de falla de los diferentes componentes mantenibles de la planta para finalmente proceder a generar el plan de mantenimiento de la planta.

4.3 Limitaciones

Durante el desarrollo del proyecto se busca lograr gestionar los planes de mantenimiento de la planta de asfalto Benninghoven ECO, la cual, actualmente presenta poca inversión económica tanto en el área de producción como en el área operativa, para ello se busca optimizar y minimizar las piezas de recambio, las cuales, por la poca trazabilidad que se lleva no se tiene un dato concreto de cuándo se puede presentar la falla, con el fin de definir los componentes mantenibles de la planta buscando los aspectos más críticos, y con mayor recurrencia de falla para tener un stock mínimo en inventario para garantizar la operación y disponibilidad de la planta.

5 Marco conceptual

5.1 Estado del arte

La investigación se basa en la búsqueda de una propuesta de mantenimiento que se ajusté a las condiciones óptimas de operación, con el fin de poder brindar la confiabilidad apropiada al momento de producir la mezcla asfáltica, para ello se inicia una búsqueda que determine, cuál es mejor modelo de mantenimiento que se puede implementar teniendo en cuenta la necesidad de la empresa, como confiabilidad, disponibilidad, disminución de costos de tal manera que se tenga un impacto positivo, y de esta manera buscar extender la vida útil del activo.

5.1.1 Estado del arte Nacional

5.1.1.1 Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial

En el año 2017 los autores Maira C Gasca, Luis L Camargo, Byron Medina, desarrollaron el artículo “*Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial*” para la revista Información Tecnológica, Universidad Antonio Nariño, Research in Energy and Materials, los autores proponen una herramienta para evaluar la confiabilidad de equipos críticos, con el objetivo de brindar criterios para mejorar la toma de decisiones en el mantenimiento. La herramienta primero jerarquiza los activos a través de un análisis de criticidad, identificando los equipos en función de los siguientes factores: i) su operación y producción; ii) frecuencia, costo y tiempo de reparación de las fallas; y iii) el impacto en la seguridad y salud del operador. A los equipos críticos se les construye un catálogo de fallas, mediante el uso de la metodología de análisis del modo y efecto de la falla, creando un registro confiable. Con estos datos se analiza y modela la confiabilidad de los equipos utilizando las distribuciones de Weibull, Log Normal y Normal, para determinar el tiempo medio entre fallas, (Gasca, Camargo, & Medina, 2017)

5.1.1.2 *Gestión de activos enfocado hacia la confiabilidad o determinación del TPEF*

(Tiempo promedio entre fallas en equipos y/o sistemas)

Los ingenieros Cristian Cerquera y Julio Barrantes presentan un proyecto de investigación donde pretenden determinar los tiempos medios de falla de los equipos de la empresa Concescol con el fin de determinar la condición de operación de los equipos y poder identificar cuáles son los sistemas que más afectan la disponibilidad de los equipos de pavimentación. En los resultados se observa que los equipos más críticos de fallas son la Finisher y los sistemas que más fallas presentan son el sistema eléctrico, el sistema hidráulico y la estanqueidad de los equipos.

De este trabajo concluyen con la obsolescencia de los equipos por lo cual se debe realizar una actualización de los equipos de pavimentación, y de no ser posible lo más recomendable es hacer un Overhaul de los sistemas hidráulicos y eléctricos (Cerquera & Barrantes, 2016).

5.1.1.3 *betúntenimiento con planeación estratégica*

El ingeniero Jhon Quintero en el año 2015 desarrolla su tesis con el objetivo de optimizar los resultados de mantenimiento a través de la planeación estratégica lo cual logra generar una mayor eficiencia en los trabajos realizados y en los tiempos pronosticados de parada.

5.1.2 Estado del arte internacional

5.1.2.1 Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales

herramientas de apoyo

En el año 2013 los autores Pablo Viveros, Raul Stegmaier, Fredy Kristjanpoller, Luis Babera y Adolfo Crespo desarrollaron el artículo titulado

“Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales

herramientas de apoyo” para la revista ingeniería chilena del Departamento de Industrias, Universidad Técnica Federico Santa María, Avenida España 1680, Valparaíso, Chile, los autores presentaron en el artículo un modelo de gestión integral del mantenimiento, considerando la mejora continua de los tiempo de mantenimiento, así mismo explican la importancia de tener alineados los objetivos de la organización para lograr la integración y correcta gestión de la unidad de mantenimiento. Este modelo presentado complementa las herramientas de apoyo para el desarrollo e implementación de las etapas de la operación. (Viveros, Stegmair, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo, 2013)

5.1.2.2 Modelo para detección y simulación de fallas bajo la gestión de mantenimiento y proyectos

En el año 2018 los autores Javier Augusto Barros Leal y Julio Cesar Martínez Espinoza desarrollaron el artículo titulado “***Modelo para detección y simulación de fallas bajo la gestión de mantenimiento y proyectos***” para la revista informador técnica, los autores presentaron en el artículo, el diseño e implementación de un modelo basado en un dispositivo que contiene elementos de control digital e integra un sistema automático de detección y diagnóstico de fallas que puede ser usado como herramienta para la orientación de los operarios durante la presencia de una falla potencial, (Barros Leal & Martinez Espinoza, 2018)

5.1.2.3 Implantación de un sistema de mantenimiento preventivo para el aumento de la eficiencia de la maquinaria en una planta de fundición

En el año 2018 los autores Israel Becerril Rosales, Jaime Gutiérrez Balderas Y Ruben Hurtado Gómez, desarrollaron el artículo “***Implantación de un sistema de mantenimiento preventivo para el aumento de la eficiencia de la maquinaria en una planta de fundición***” para

la revista Ciencia Administrativa, Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, los autores presentan en el documento la importancia de usar software de mantenimiento ya que permite conocer la eficiencia y disponibilidad que deja visualizar el comportamiento de la disponibilidad, rendimiento y la calidad de la maquinaria y la producción, así también como la identificación de la causa de los tiempos muertos que se generan durante el proceso y poder tomar acciones correctivas del mismo para poder eliminar esos tiempos muertos y ser más productivos. (Becerril Rosales, Gutierrez Balderas, & Hurtado Gomez, 2018).

5.1.2.4 El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional

En el año 2000 los autores Huerta Mendoza R, desarrollo el artículo ***“El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional”*** para la revista Ingeniería Mecánica, Exploración y Producción Occidente. Gerencia de Mantenimiento. Ingeniería de Mantenimiento. Edificio Mantenimiento Sur. Oficina PB-17. Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA), Carretera Nacional, PDVSA Lagunillas, Estado Zulia, Venezuela. Apartado Postal 173. Zona Postal 4016-A, el autor presenta en el documento la importancia del análisis de criticidad ya que permite establecer una metodología en el orden jerárquico en la prioridad de los procesos, sistemas y equipos creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento,

(Mendoza R, 2000), sin embargo, se resalta los limitantes que tiene la compañía como los recursos económicos como humanos.

5.1.2.5 contribución del mantenimiento centrado en la confiabilidad para el estudio de fallos a equipos consumidores de energía eléctrica

En el año 2020 los autores José U Espinosa-Martínez, Estrella M de la Paz-Martínez, Raúl A Pérez Bermúdez, Idalmis Acosta Pérez, desarrollaron el artículo ***“Contribución Del Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Para El Estudio De Fallos A Equipos Consumidores De Energía Eléctrica”*** para la revista Centro Azúcar, Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní Km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Este artículo incluye los resultados de una investigación realizada en un hotel de modalidad de sol y playa cubano. Objetivo: Realizar un estudio de fallos en equipos identificados como los de mayor consumo eléctrico. Materiales y Métodos: Fueron utilizadas varias herramientas como: trabajo en grupo para la toma de decisiones complementado con un análisis de los niveles de criticidad tanto para el área de mantenimiento como para el área energética del hotel, además se realizan entrevistas al personal y consulta de documentos los cuales le ofrecen soporte científico a la investigación. Resultados y Discusión: Fue utilizada la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), que incluyó la determinación de las funciones de los equipos, los fallos funcionales, los efectos de dichos fallos y sus consecuencias para la seguridad, el ambiente, el servicio y los costos de mantenimiento, (Espinosa Martínez, de la Paz-Martínez, Pérez Bermúdez, & Acosta Pérez, 2020)

6.0 Marco Teórico

6.1 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) ó Reliability-centred Maintenance (RCM II), es un proceso que se usa para determinar sistemática y científicamente qué se debe hacer para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios desean que hagan. Ampliamente reconocido por los profesionales de mantenimiento como la forma más “costo-eficaz” de desarrollar estrategias de mantenimiento de clase mundial, lleva a mejoras rápidas, sostenidas y sustanciales en la disponibilidad y confiabilidad de planta, calidad de producto, seguridad e integridad ambiental. El MCC pone énfasis tanto en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante:

- Integración: De una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Atención: En las tareas del mantenimiento que mayor incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantiza que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar (ROJAS BARAHONA, 2010).

El MCC, ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años, el proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico de la compañía, se utiliza en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metalmecánica, etc. La norma SAE JA1011 especifica los

requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso MCC (RAMIREZ & Moreno, 2017).

El mantenimiento industrial actual se presenta como un conjunto de técnicas y organización para hacer que los "equipos" cumplan con las funciones para los cuales fueron diseñados. La aplicación de estas técnicas y metodologías actuales como la del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC), traen como consecuencia la disminución de las "interrupciones (paradas inesperadas por fallas)" que a su vez incrementan la "disponibilidad" de los equipos, traduciéndose esto en un menor gasto por mantenimiento correctivo indeseado y obteniendo productos de excelente calidad, que es lo que se quiere en este mundo tan competitivo a nivel industrial (Andogoya, 2005)].

6.2 Confiabilidad

Es el método probabilístico de que un equipo cumpla su función específica bajo condiciones de uso determinadas en un período de tiempo determinado. Con el fin de conocer de manera detalla el equipo y cada uno de sus componentes. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable, el cual exige una comprensión con el fin de cuantificar la confiabilidad en términos probabilísticos, definir el buen funcionamiento, conocer cuál es el ambiente en donde se va a operar, y el tiempo requerido entre cada fallo, o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo. La confiabilidad de un sistema y sus componentes es de suma importancia si queremos conocer la confiabilidad de los activos. Los datos suministrados por los indicadores de confiabilidad deben darnos la distribución de fallos para una o más

combinaciones de esfuerzos y ambientes. Uno de los factores a considerar para predecir la confiabilidad de componentes es la tasa de fallo, nivel operativo del equipo, número de ciclos conectados desconectados, número de horas de funcionamiento, naturaleza y distribución del fallo. Otros aspectos a tomar en cuenta en la configuración de los sistemas son el tipo y grado de redundancia, naturaleza y frecuencia de las acciones de mantenimiento, modos de fallos de componentes sobre sistemas. Existen diferentes procedimientos para obtener una predicción del sistema y componentes, como modelos matemáticos, técnicas de simulación y determinación de valores límites. La tecnología de monitoreo por condiciones realiza un análisis lógico que relaciona los fallos de los componentes con los fallos del sistema. Se utilizan modelos de un conjunto de bloques en el que cada bloque representa un componente o combinación de componentes que realiza una función, cada bloque solo tiene posibles estados mutuamente excluyentes (Satisfactorio y fallado). La función representada por cualquier bloque es necesaria para el funcionamiento del sistema. No obstante, el fallo de un bloque no implica fallo del sistema si otro bloque realiza la misma función conteniendo el modelo todas las funciones críticas para el sistema. La tecnología dispone de estrategias para reducir la probabilidad de fallo de un sistema y sus componentes. Consiste en dispositivos más de una serie de elementos que pueden realizar la misma función. (Ramirez & Moreno, 2017)

6.3 Análisis de modos y Efecto de falla (AMEF)

La metodología del análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF) permite identificar las fallas potenciales de un producto o un proceso y, a partir de un análisis de su frecuencia, formas de detección y el efecto que provocan; estas fallas se jerarquizan, y para las fallas que vulneran

más la confiabilidad del producto o el proceso será necesario generar acciones para atenderlas (Pico Espín, 2016, pág. 21). A partir de esta técnica se logra:

1. Asegurar que todos los modos de falla concebibles y sus efectos sean comprendidos.
2. Identificar debilidades de diseño.
3. Proveer alternativas en la etapa de diseño.
4. Proveer criterios para prioridades de acciones correctivas.
5. Proveer criterios para prioridades de acciones preventivas.
6. Asistir en la identificación de fallas en sistemas con anomalías.

Dentro del desarrollo del AMEF se determina el NPR (Número de prioridad de riesgo), el cual se da por la multiplicación por tres índices de probabilidad, los cuales son la gravedad o severidad, el nivel de ocurrencia y por la facilidad de detección, como se muestra en la expresión 1.

$$\text{NPR} = \text{Gravedad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección} \quad (1)$$

Dichos índices de evaluación se van determinando en escalas de 1 hasta 10 en función de las características que se describan para cada uno de ellos, siendo puntaje el menor 1 y 1000 el mayor para la evaluación y por consecuencia el valor más crítico de un AMEF (Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance, 2009).

6.4 Análisis de criticidad

La finalidad es poder establecer un método que sirve en las empresas como un instrumento de ayuda, con el fin de determinar la jerarquía en los procesos, sistemas y equipos en una línea de producción, de esta manera lograr tener unos subniveles de los componentes con el fin de poder controlarlos de manera eficiente y darle un manejo adecuado a cada uno de sus componentes dando, la importancia necesaria dentro de los activos de la empresa con el fin de evitar las fallas potenciales en cada uno de los niveles

Indicadores de Mantenimiento o KPI (Key Performance Indicators)

Son métricas que buscan medir y controlar cada acción determinada, y estas pueden variar según los objetivos de las compañías, entre ellos se busca controlar la disponibilidad de los equipos, confiabilidad tiempo medio entre fallas, con el fin de garantizar su disponibilidad.

6.5 Normas SAE JA1011 y JA1012

Ante las diferentes de metodologías que decían llamarse RCM II, las cuales aparecieron a partir de 1990, y como resultado de la demanda internacional por una norma que estableciera unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado “RCM II” surgió en 1999 la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012. Tal y como anuncia la introducción de ambas normas, no intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que simplemente establecen unos criterios mínimos que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM II. [21]

6.6 Marco normativo y legal

Normas que se relacionen con el trabajo desarrollaron, ISO 17024

Especificación Particular Mezcla Asfáltica Natural ARTÍCULO 442P – 17

Mezclas Asfálticas En Caliente Densas, Semidensas, Gruesas, Y De Alto Módulo Idu

Tabla 1 Marco Normativo

Norma	Descripción	Utilidad para el proyecto
ISO 17024	Define los criterios y los procedimientos para la certificación de personas como trabajadores de una empresa o sector en concreto, dependiendo del tipo que sea y la actividad que lleve a cabo.	Definir y evaluar las competencias de los trabajadores.
SAE JA 1011	Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	Definir los criterios basado en RCM II de la planta de asfalto
SAE JA 1012	Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)	Resume problemas adicionales que deben ser tomados en cuenta para aplicar MCC exitosamente.
ISO 14224	Industrias de petróleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos ISO	Da una guía general sobre cómo se debe establecer los límites y las jerarquías de los equipos.

Fuente Propia

6.7 Marco histórico

Finalizando el año 2015 se pone en marcha la planta de asfalto Benninghoven ECO 2000, al ser un equipo nuevo opero inicialmente sin mayor complicación, pero con el paso del tiempo empezaron a evidenciarse fallas debido a las incompletas rutinas de mantenimiento planteadas por el fabricante. Una de las fallas más críticas que presento la planta ocurrió cuando un motor de vibración del sistema de clasificación de materiales se aterrizó, generando una parada grande inesperada que ocurrió por una mala rutina de lubricación, generando que la grasa pasara al embobinado quemando el mismo. Desde su funcionamiento no se cuenta con un registro digital de las intervenciones realizadas a la planta lo cual dificulta el análisis de las rutinas de

mantenimiento. Las actividades propias de mantenimiento siempre han sido realizadas por parte de los operadores.

7.0 Diseño Metodológico

7.1 Cronograma

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES		FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO			
OBJETIVOS	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
ESTABLECER EL CONTEXTO OPERACIONAL DEL EQUIPO	REALIZAR MATRIZ DE CRITICIDAD DEL EQUIPO																
	DESCRIBIR EL CONTEXTO OPERACIONAL DEL EQUIPO																
DEFINIR LA TAXONOMIA DE LA PLANTA DE ASFALTO BENNINGHOVEN ECO 2000	REALIZAR EL DESPIECE DEL EQUIPO POR MEDIO DEL MANUAL DE PARTES																
	VERIFICAR EL ESTADO DE LOS COMPONENTES MANTENIBLES DEL EQUIPO																
REALIZAR ANALISIS RCM	FUNCIONES DE SUBSISTEMA																
	DESCRIPCION DE FALLAS FUNCIONALES																
	ANALISIS DE MODOS DE FALLOS Y SUS EFECTOS																
	DESCRIPCION DE LAS CONSECUENCIAS DE LA FALLA																
ESTABLECER ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO ADECUADAS PARA LOS COMPONENTES MAS CRITICOS DEL SISTEMA	ESTABLECER TAREAS PREVENTIVAS																
	ESTABLECER TAREAS A FALTA DE																
	DIAGRAMA DE DECISION RCM																

7.2 Recolección de la información

7.2.1 Tipo de Investigación

Se realiza un caso de estudio de tipo exploratorio, se va a analizar los sistemas más críticos de la Planta de asfalto Benninghoven ECO 2000 de la empresa Compañía de Trabajos Urbanos por medio de una matriz de criticidad, posteriormente se va a realizar la taxonomía del

subsistema más crítico de la planta con el fin de conocer todos los componentes mantenibles del subsistema, así como su estado y especificaciones.

7.2.2 Fuentes de obtención de la información

Para el desarrollo de esta investigación nos basaremos en las siguientes técnicas:

- Observación por parte del equipo de mantenimiento para determinar los componentes de la planta.
- Reuniones Periódicas con el equipo de mantenimiento y operación.
- Asesorías con personal externo.

7.2.2.1 Fuentes Primarias

Datos Recolectados por el personal de operación y mantenimiento de la empresa Compañía de Trabajos Urbanos, Bitácora de Mantenimiento de la planta, Manual del Proveedor.

7.2.2.2 Fuentes Secundarias.

Libros Sobre RCM II, Tesis de grado y asesorías externas.

7.2.3 Herramientas de Análisis

Las herramientas para el desarrollo de esta investigación con el fin de mejorar el plan de mantenimiento de la planta son las siguientes:

- Inspección de la planta por parte de los operadores.
- Análisis de modo de fallas y efectos.
- Matriz de criticidad.

7.2.4 Metodología

Esta Investigación es de carácter cuantitativo, se va a trabajar en la medición de la confiabilidad del equipo en general y cuantas de las fallas asociadas son generadas por el subsistema más crítico de la planta. Estos datos se obtendrán de la bitácora de

mantenimiento de la planta y serán posteriormente digitalizados para mejorar el manejo de la información.

Con el fin de lograr el desarrollo del primero objetivo se busca tener claro el contexto operacional de la planta de asfalto, en la cual, con ayuda del plano se plasma la infraestructura para dar una visión amplia a su funcionamiento y elementos a evaluar, de esta manera se logra realizar un análisis por matriz de criticidad y para ello se realiza un despiece de sus sistemas, para lograr brindar una ponderación para lograr establecer criterios de consecuencias, evaluación de frecuencia de fallo, matriz de criticidad, evaluación por consecuencias por fallos en los sistemas.

Una vez se halla identificado el componente más crítico de la planta de asfalto se deben obtener los parámetros normales de funcionamiento y confrontarse con lo que actualmente desempeña el equipo, para ello la información de normal de funcionamiento se debe extraer de la ficha técnica que corresponda al componente a evaluar, una vez se identifique los datos técnicos se procede a verificar los datos obtenidos en funcionamiento actual o real del equipo. Para ellos se deben identificar fallas funcionales, modos de falla, identificar sus subsistemas.

Cuando se cuenta con la información y análisis correspondiente se procede a realizar las respectivas actividades de mantenimiento o rutinas al componente más crítico, con el fin de mejorar su eficiencia y confiabilidad en su labor, para ello se implementará y presentará a la empresa CTU una propuesta de plan de mantenimiento en donde se indique la frecuencia herramienta a usar, insumos entre otros. Y así mismo apoyar esta propuesta con el ingeniero de mantenimiento y la gerencia de la empresa.

7.2.5 Recolección de la información

En compañía del personal de operación y mantenimiento de la empresa Compañía de Trabajos Urbanos CTU, se hizo un recorrido para verificar el estado de los sistemas componentes de la planta de asfalto. Para ello se hace un registro fotográfico de los sistemas de la planta de asfalto.

Figura 1

Criba planta de asfalto



En la figura 1 se ve el estado del sistema Criba, la cual, hace la función de seleccionar los agregados de determinado tamaño.

Figura 2 *Sistema de Pesaje planta de asfalto*



En la figura 2 se evidencia se evidencia el estado del sistema de pesaje, para garantizar la capacidad y mezcla requerida.

Figura 3 Mezclador planta de asfalto



En la figura 3 se aprecia el mezclador de la planta de asfalto, la cual hace la función de mezclar el asfalto junto con el material agregado.

Figura 4 Tolvas de dosificación previa planta de asfalto



En la Figura 4, se presenta el estado de las tolvas de dosificación previa, en la cual se deposita los agregados para dar inicio al proceso de secado.

Figura 5 sistema de granulado planta de asfalto



En la figura 5, se presenta el sistema de granulado, el cual, cumple la función de realizar una mezcla de asfalto con caucho reciclado en seco.

Figura 6 Sistema de RC planta de asfalto



En la figura 6, se presenta el sistema de elevación del material reciclado.

Figura 7 *Elevador de Cangilones*



En la figura 7 se presenta el sistema de elevación por cangilones, la cual, su función es realizar el transporte de material a una zona elevada luego para pasar por la criba para seleccionar el tamaño del agregado.

En la figura 8, se aprecia el estado del tanque de almacenamiento de asfalto, el cual es suministrado por un proveedor con una capacidad de 11 mil galones.

Figura 8 Tanques de Asfalto



Figura 9 Sistema de eliminación de polvo



En la figura 9, se presenta el sistema de eliminación de polvos, la cual, cuenta con 352 filtros de mangas, estos filtros generan unos finos para ser reutilizados cuando se produce mezcla asfáltico.

Figura 10 Tambor secador

En la figura 10 se muestra el estado del sistema de tambor de secado, en la cual, busca secar y elevar la temperatura del agregado, para dar continuidad al proceso de mezclado.

Para esto elaboramos la taxonomía del sistema de elevador de cangilones y el estado de sus componentes más accesibles los cuales observamos a continuación.

Tabla 2 Taxonomía sistema de elevador de cangilones

TAXONOMÍA ELEVADOR DE CANGILONES EN CALIENTE			
ID	DESCRIPCIÓN	N° ARTICULO (BENNINGHOVEN)	ESTADO ACTUAL
1	Conducto de entrada	05-011443	Desgaste en chapas de protección
2	Cadena para elevador de cangilones (L=54,4 m)	90-006554	Desgaste Leve en los rodillos
3	Cangilón del elevador	05-011581	Sin desgaste considerable
4	Rueda segmentada sin dientes	90-035930	Óptimas condiciones, el componente esta recién sustituido
5	Rodamiento Rueda segmentada sin dientes		
6	Transductor de pulsos	90-036568	
7	Chapas de desgaste parte superior del elevador Tipo 1	80-008080	Desgaste medio

8	Chapas de desgaste parte superior del elevador Tipo 2	80-008777	Desgaste medio
9	Rueda segmentada dentada	90-018277	Desgaste Leve
10	Rodamiento Rueda segmentada dentada		
11	Motorreductor de accionamiento	90-045974	Óptimas condiciones

Fuente: Elaboración propia

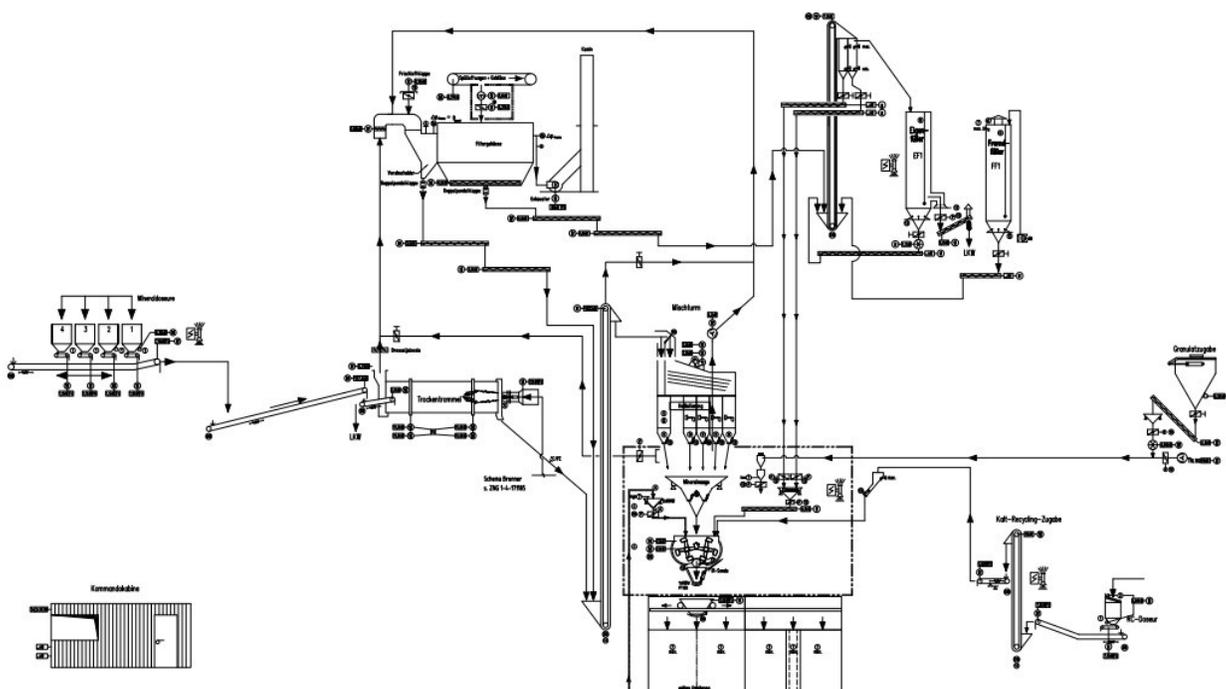
8.0 Propuesta de Solución

8.1 Estado actual de los sistemas y componentes de la planta de asfalto más críticos.

A continuación, se presenta el contexto operacional de la planta de asfalto para conocer mejor sus parámetros de funcionamiento y de esta manera lograr determinar los componentes más críticos que la componen, para ello se realiza una matriz de criticidad de los sistemas.

8.1.1 Contexto Operacional

Figura 11 Contexto operacional esquema planta de asfalto



Nota: Esquema planta de asfalto, fuente manual del equipo, se logra observar la totalidad de los sistemas que comprenden el funcionamiento de la planta de asfalto.

Esta planta se encuentra ubicada en la vereda fusca de chía, en este mismo terreno se encuentra una mina donde se producen algunas de las materias primas para su operación. Esta planta produce mezclas asfálticas variadas, por medio de tres sistemas los cuales son:

1. Agregados convencionales de cantera y materiales de rio en adición con bitumen como aglutinante de la mezcla
2. Agregados convencionales de cantera y materiales de rio en adición con bitumen y grano de caucho como aglutinante de la mezcla.
3. Agregados convencionales de cantera y materiales de rio en adición de bitumen y rap (pavimento asfaltico reciclado)

La planta funciona con cuatro tolvas de prosificación donde dos de estas almacenan materiales gruesos (tamaños mayores a media pulgada) y dos funcionan con materiales finos (arenas), por lo cual requiere de motores vibradores para que el material no quede adherido a las tolvas. Este material es transportado por medio de tres bandas transportadoras que son accionadas por un conjunto de motorreductores, la última banda transportadora de este proceso tiene unas condiciones de trabajo diferentes ya que es la banda que expulsa el material al tambor secador el cual trabaja a una temperatura mayor, la planta debe secar y calentar el material primario por medio de un quemador que funciona con aceite residual como combustible. los materiales son secados y calentados a través de un tambor secador el cual cuenta con unas paletas internas para permitir el flujo del material atreves de este. Después de pasar por el tambor secador los materiales son transportados por medio de unos cangilones que utilizan cadenas hasta llegar a la criba donde clasifican estos materiales según su tamaño por medio de unas mallas,

para poder realizar este cribado o clasificación se utiliza un motor de vibración para que agite el cuerpo de mallas, quedando así en silos independientes y después pasan al mezclador en una cantidad específica medida por una báscula. La planta cuenta con 5 tanques de almacenamiento de asfalto, tres de ellos funcionan por medio de resistencias eléctricas para mantener la temperatura del mismo, los otros dos tanques cuentan con calderas que funcionan con A.C.P.M. Este asfalto es transportado por medio de tuberías aisladas hasta una báscula. cuando entran los agregados y el asfalto al mezclador, son agitados por medio de paletas acopladas a unos ejes. después de que la mezcla esta lista es descargada en un coche de distribución que finalmente las almacena en silos asilados térmicamente.

8.1.2 Matriz de Criticidad

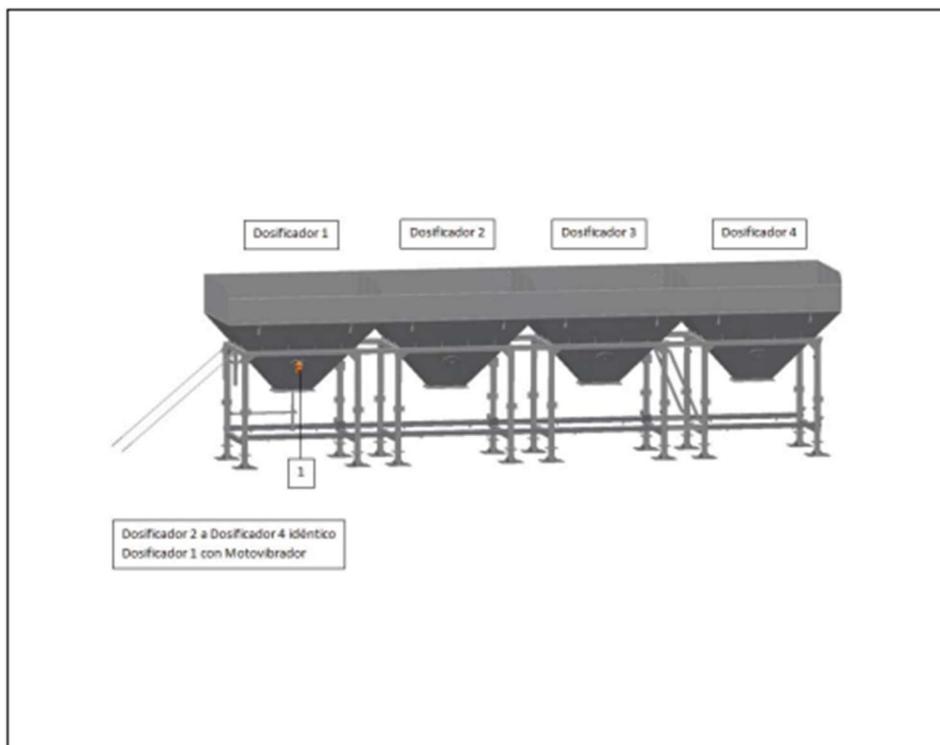
Este análisis de criticidad se realizará para los sistemas de la planta de asfalto

Benninghoven los cuales son:

- Dosificación previa

Figura 12 Grupo de dosificación

Pos.	Miniatura	Uds.	N.º de artículo:	Denominación
1		1	90-005228	Motovibrador MVS1 3/300-S02 0,26 KW, 2,98 kN

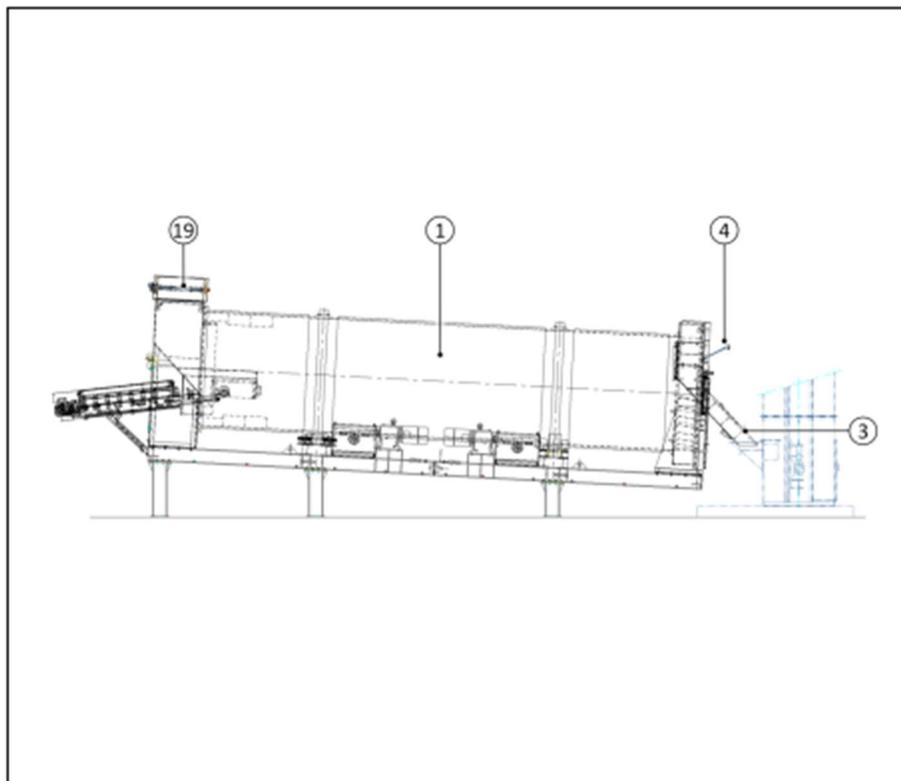


Nota: Grupo de dosificación, tomado del manual de partes Benninghoven ECO 2000.

- Instalación de secado

Figura 13 *Tambor de secado completo*

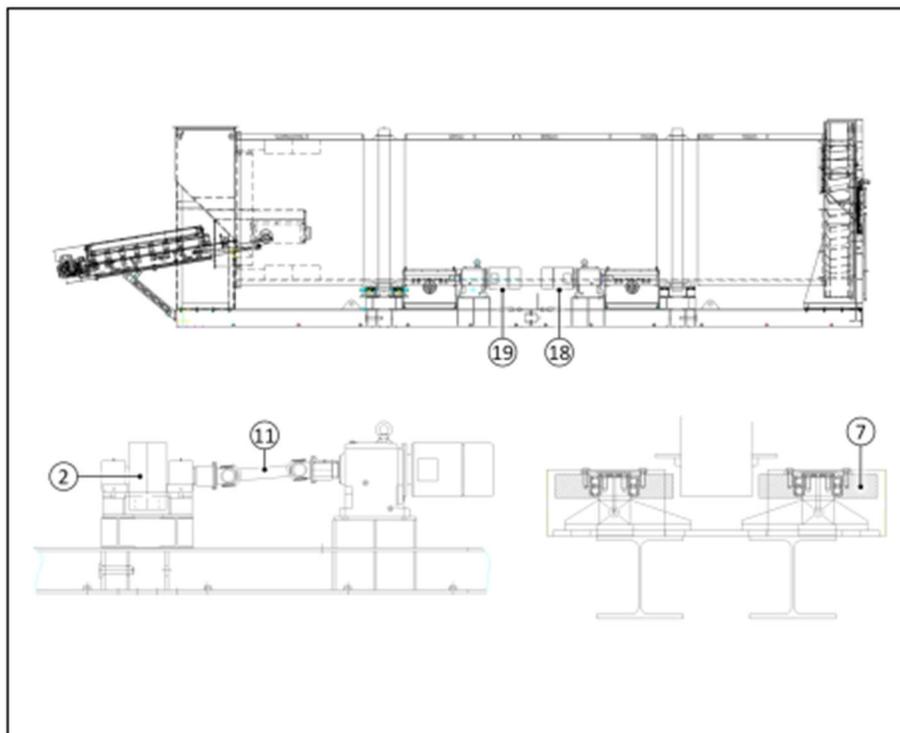
1	1	02-010309	Trockentrommel, transportbereit Tambor de secado listo para el transporte
3	1	02-002682	Trommelauslaufschurre Rampa de descarga del tambor
4	1	02-007407	Unterdruckmesseinheit komplett Unidad de medición de presión negativa completa
19	1	09-006027	Drosseljalousie Registro de celosía de lamas



Nota: esquema general tambor de secado, tomado del manual de partes Benninghoven ECO 2000.

Figura 14 *Bastidor completo tambor secador*

2	4	02-000176	Laufrolle komplett Rodillo de apoyo completo
7	2	02-000190	Spurrolle komplett Rodillo de guía completo
11	4	90-006371	Kardan-Gelenkwelle Árbol cardán
18	2	90-045900	Antriebseinheit Unidad de accionamiento
19	2	90-045901	Antriebseinheit Unidad de accionamiento

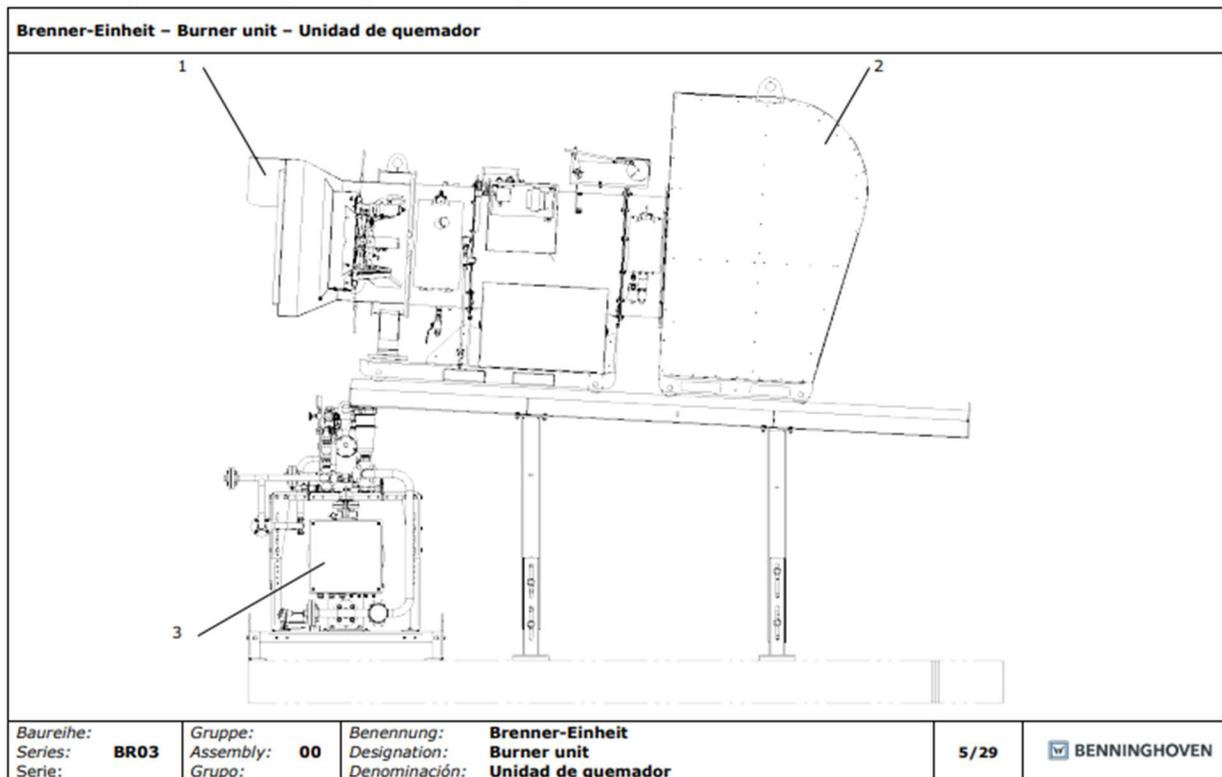


Nota: esquema general bastidor completo tambor de secado, tomado del manual de partes

Benninghoven ECO 2000.

- Quemador

Figura 15 *Despiece general del quemador*

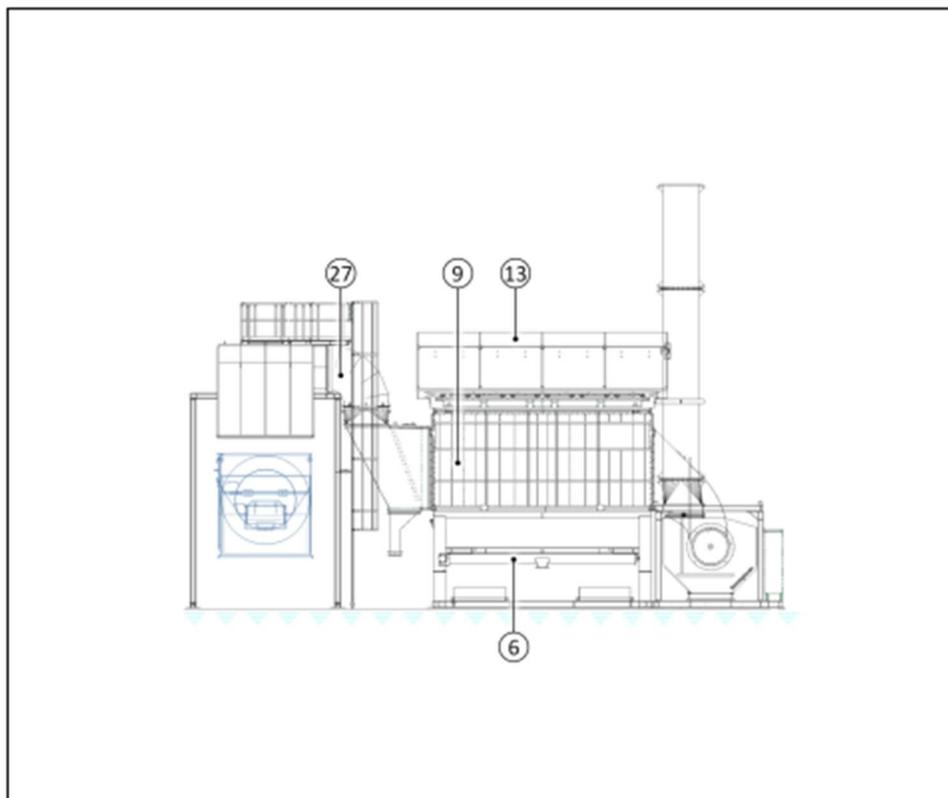


Nota: Despiece quemador (1) Quemador, (2) Silenciador (3) Precaentador final con estación de bombas, tomado del manual de partes Benninghoven ECO 2000.

- Instalación de eliminación de polvo

Figura 16 Esquema general sistema eliminación de polvo

6	1	04-001274	Staubsaammeltrog Cubeta de recopilación de polvo completa
9	1	04-001800	Filtergehäuse komplett, Aramid Alojamiento del filtro completo Aramid
13	1	04-001277	Filterdeckeleinheit Unidad de cubierta del filtro completa
27	1	04-004869	Rohgaskanal Conducto de gas bruto



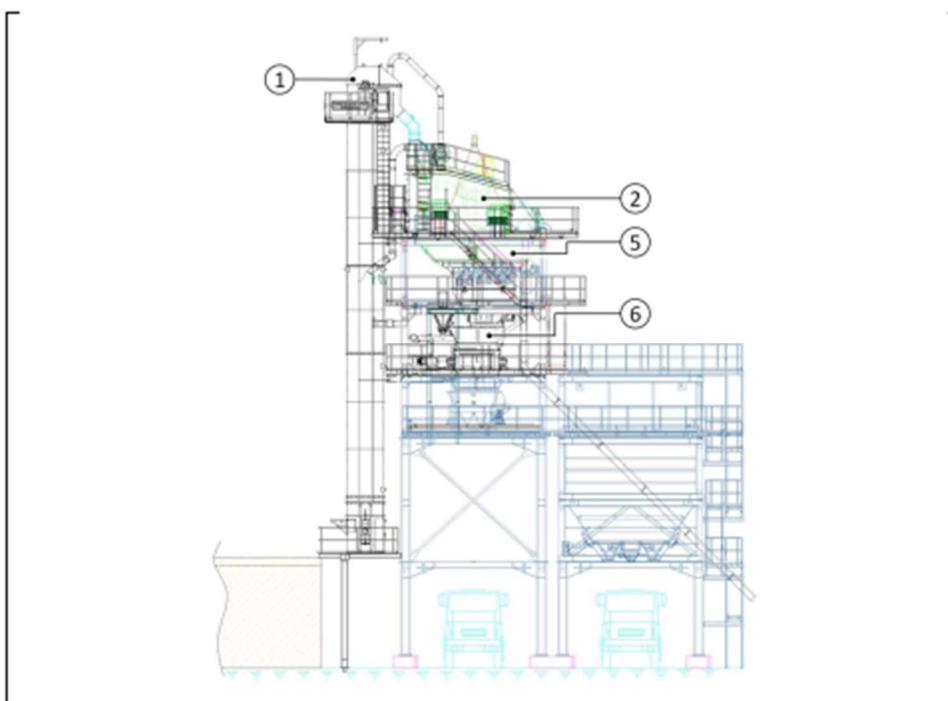
Nota: esquema general sistema eliminación de polvo, tomado del manual de partes

Benninghoven ECO 2000.

- Torre de mezcla y *cribado*

Figura 17 Esquema general torre de mezcla y *cribado*

1	1	05-016043	Kettenbecherwerk Elevador de cangilones con cadena
2	1	05-016096	Siebmaschine Criba
5	1	05-016140	Heißsiliierung/Auslaufsektion Sección de silo en caliente/sección de descarga
6	1	05-016071	Wiegesektion Sección de pesaje
9	1	90-044671	Strahlungsfühler (nicht eingezeichnet) Pirómetro de radiación (no se muestra)
10	1	90-009160	Axialluftdüse (nicht eingezeichnet) Inyector de aire axial (no se muestra)



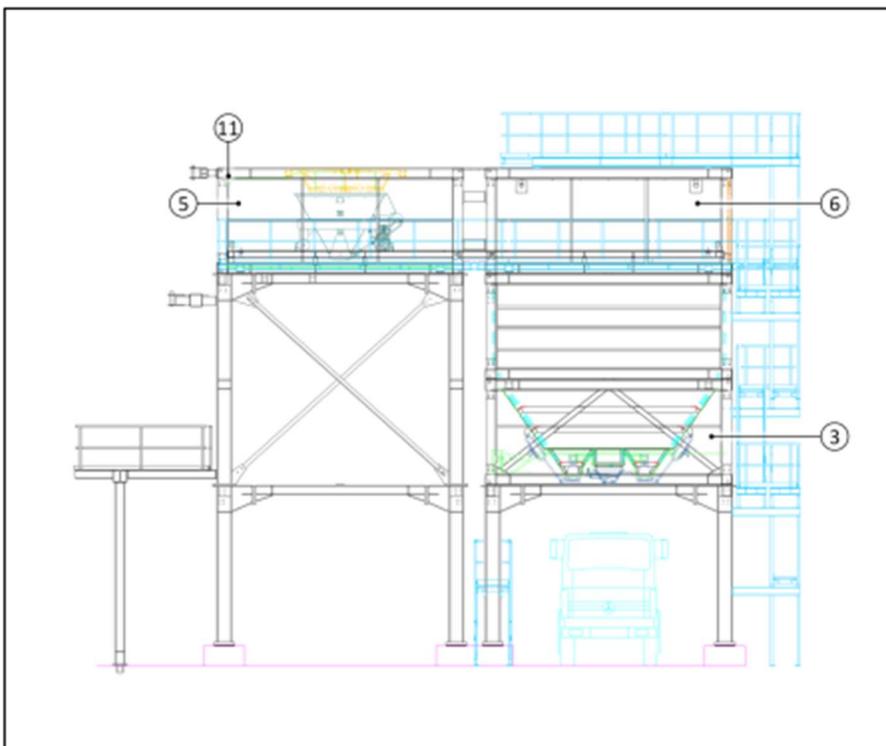
Nota: esquema general torre de mezcla y cribado, tomado del manual de partes Benninghoven

ECO 2000.

- Silo de carga del material mixto

Figura 18 *esquema general silo de carga mixto*

3	1	06-003779	Auslaufcontainer Contenedor de descarga
5	1	06-005496	Kübelbahncontainer unter Mischturm Cuba aérea debajo de la torre de mezclado
6	1	06-005502	Kübelbahncontainer neben Mischturm Cuba aérea junto a la torre de mezclado
11	1	06-005420	Kübeleindüsung Inyección de cuba



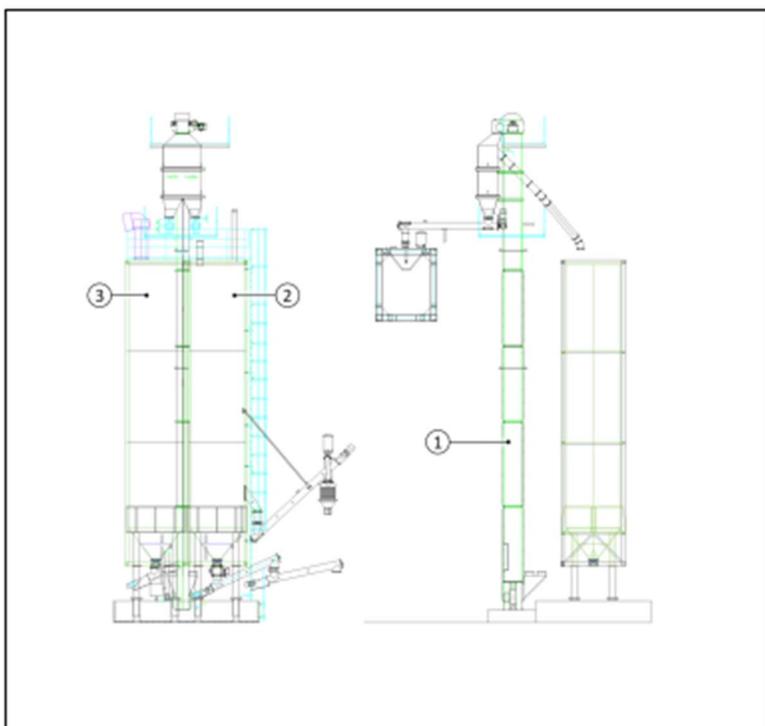
Nota: esquema general silo de carga de material mixto, tomado del manual de partes

Benninghoven ECO 2000.

- Suministro de material de llenado

Figura 19 *esquema general sistema suministro de material de llenado*

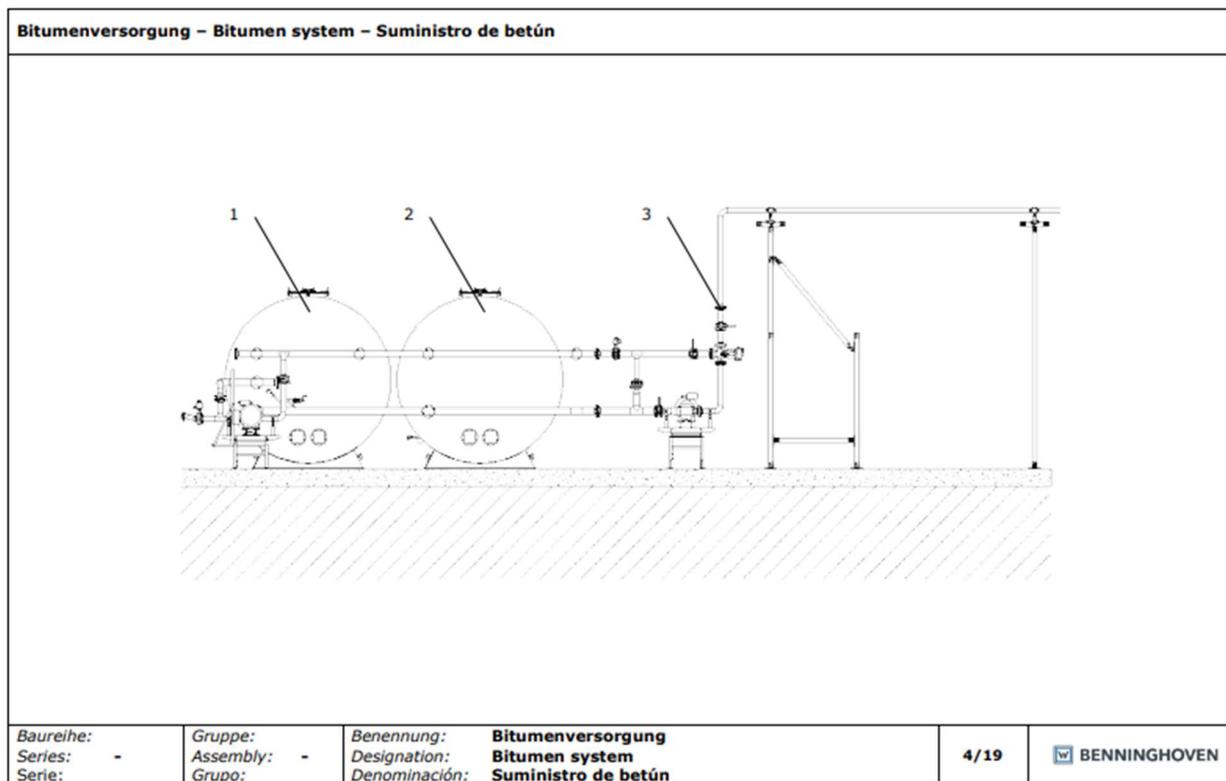
1	1	90-048783	Füllerelevator Elevador de relleno
2	1	90-048763	Eigenfüllersilo Silo de relleno de terceros
3	1	90-039177	Fremdfüllersilo Silo de relleno de terceros



Nota: esquema general suministro de material de llenado, tomado del manual de partes Benninghoven ECO 2000.

- Suministro de Betún

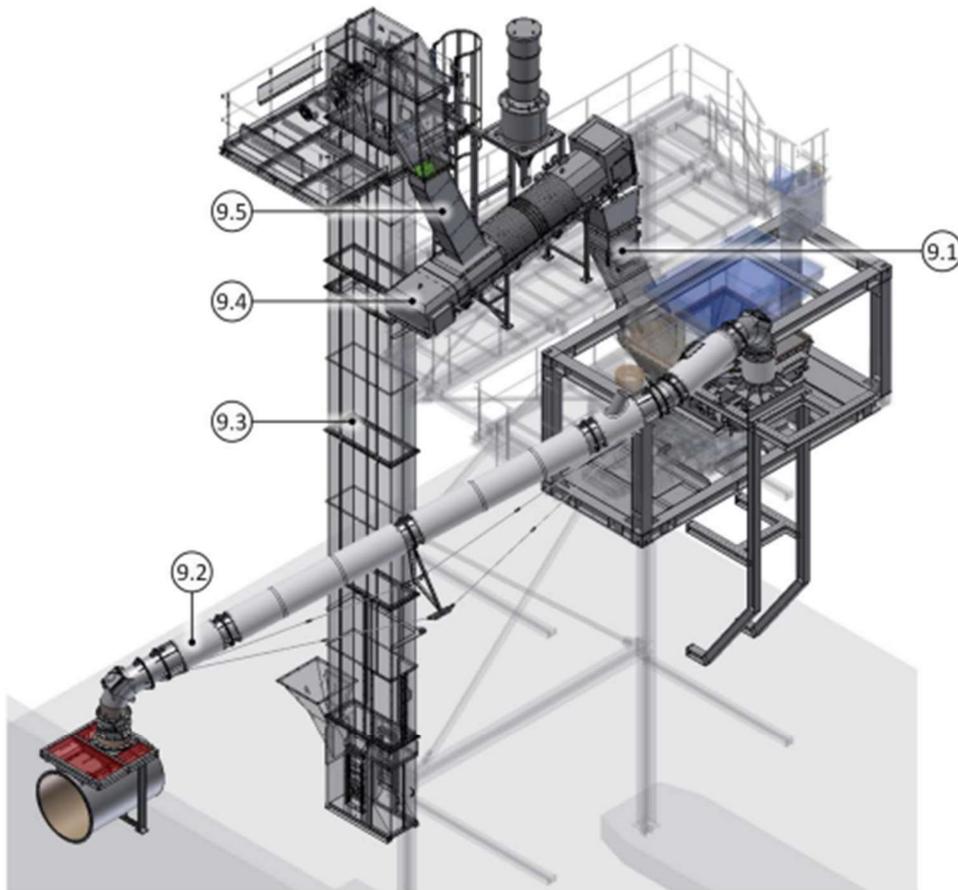
Figura 20 *esquema general sistema suministro de betún*



Nota: esquema general suministro de betún, tomado del manual de partes Benninghoven ECO 2000.

- Sistema de adición en frío RC

Figura 21 *esquema general sistema de adición en frío*



- 9.1 Trampa de cambio,
- 9.2 Aspiración RC
- 9.3 Elevador RC
- 9.4 Cinta de pesaje
- 9.5 Tolva

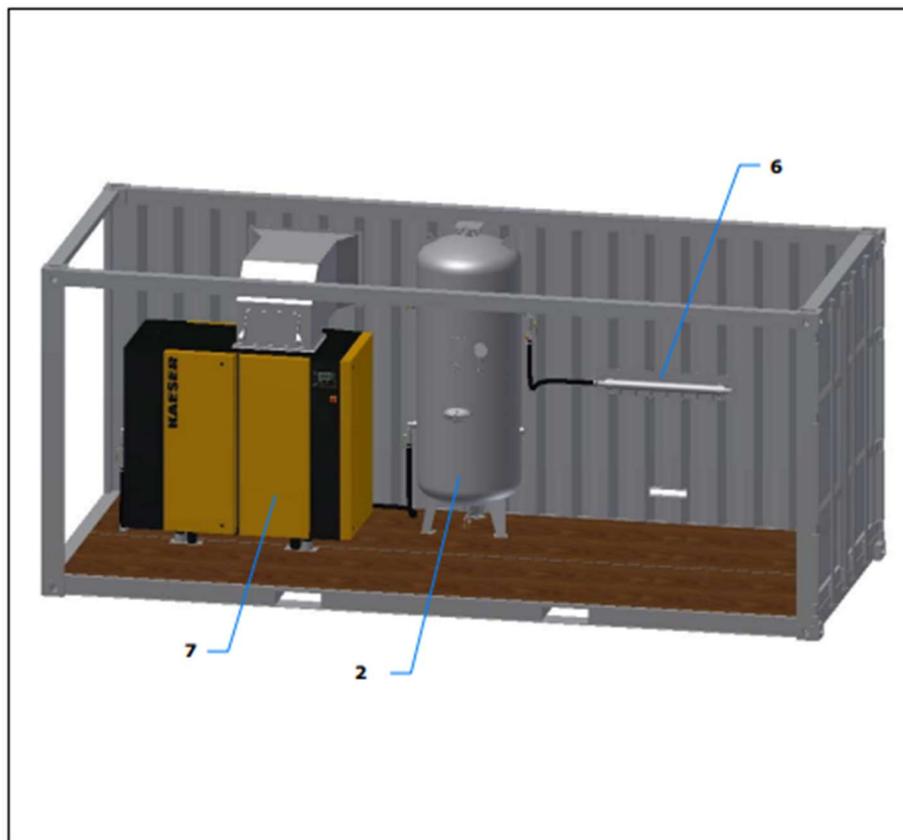
Nota: esquema general sistema de adición en frío, tomado del manual de partes Benninghoven

ECO 2000.

- Compresor

Figura 22 *esquema general sistema de aire comprimido*

2	1	90-006721	Druckluftbehälter Recipiente de aire comprimido
6	1	15-004099	Verteilerstation Estación de distribución
7	1	90-048041	Schraubenkompressor Compresor de tornillo

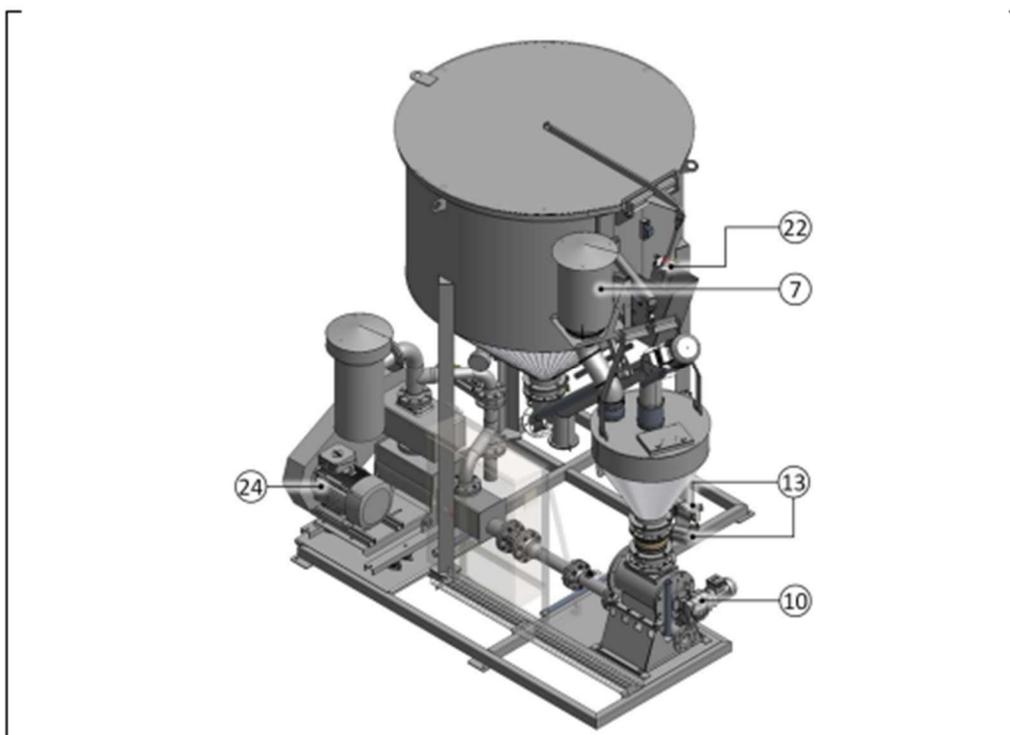


Nota: esquema general sistema de aire comprimido, tomado del manual de partes Benninghoven ECO 2000.

- Sistema de alimentación de granulado

Figura 23 *esquema general sistema de alimentación de granulado*

7	1	80-004552	Entlüftungshaube Campana de ventilación
10	1	80-000391	Zellenradschleuse Esclusa rotatoria
13	2	90-001896	Absperrklappe, pneumatisch Válvula de mariposa neumática
22	1	90-025250	Pneumatikzylinder Cilindro neumático
24	1	12-000371	Drehkolbengebläse mit Bypass Compresor de émbolo rotatorio con derivación



Nota: esquema general sistema de alimentación de granulado, tomado del manual de partes Benninghoven ECO 2000.

Para realizar este análisis a continuación se presentan las tablas de criticidad y frecuencias de fallos construidos en conjunto con personal de la empresa Compañía de Trabajos

Urbanos, al construir la matriz con los criterios de criticidad y frecuencia obtenemos unas zonas donde se clasificará el riesgo como B= Bajo, M= Medio y A= Alto. Un valor de riesgo comprendido entre 1 y 4 es un riesgo bajo, un valor de riesgo comprendido entre 5 y 10 es un riesgo medio y los valores superiores a 10 como un riesgo alto. Se presentan las siguientes tablas

Tabla 3 criterios de consecuencias

Categoría	Daño al personal	Perdida de Producción	Tiempo de puesta en marcha del equipo
5	Muerte o incapacidad total del operador y/o ayudantes	Pérdidas mayores a 875 millones de pesos	Puesta en operación mayor a 5 días hábiles
4	Incapacidad parcial, heridas graves del operador y/o ayudantes	Perdidas entre 525 millones y 875 millones	Puesta en operación entre 3 y 5 días hábiles
3	Daños o enfermedades severas, heridas leves	Perdidas entre 350 millones y 525 millones	Puesta en operación en 2 días hábiles
2	Heridas o enfermedad leves, requiere de primeros auxilios	Perdidas entre 175 millones y 350 millones	Puesta en operación en 1 día
1	Sin impactos para el personal de planta	Pérdidas menores a 175 millones de pesos	Puesta en operación menor a 1 día

Fuente: Autoría Propia

En la tabla 3 se presenta los criterios de consecuencias, en donde se establece la categoría con un rango de 1 a 5, para evaluar la pérdida generada tanto de personal como de producción, así como la cantidad de días que puede estar no disponible la planta de asfalto

Tabla 4 criterios de evaluación de frecuencia

Categoría	Tiempo Promedio Entre Fallas
5	$TPEF < 1$
4	$1 \leq TPEF < 10$
3	$10 \leq TPEF < 100$
2	$100 \leq TPEF < 1000$
1	$TPEF > 1000$

Fuente: Autoría Propia

En la tabla 4 se establecen las frecuencias de falla de cada uno de los componentes la cual, sería el tiempo medio entre falla, con el fin de garantizar los tiempos de cada consecuencia de falla.

Tabla 5 matriz de criticidad 1

Categoría de Frecuencia	5	M	M	A	A	A
	4	B	M	A	A	A
	3	B	M	M	A	A
	2	B	B	M	M	M
	1	B	B	B	M	M
Categoría de Consecuencias	1	2	3	4	5	

Fuente: Autoría Propia

En la tabla 5 ya se puede apreciar la clasificación del riesgo como B= Bajo, M= Medio y A= Alto, con la cual se podrá determinar el componente más crítico de los sistemas de la planta de asfalto

Tabla 6 Matriz de criticidad 2

Categoría de Frecuencia	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
	Categoría de Consecuencias	1	2	3	4	5

Fuente: Autoría Propia

En la tabla 6 se presenta un valor de riesgo comprendido entre 1 y 4 es un riesgo bajo, un valor de riesgo comprendido entre 5 y 10 es un riesgo medio y los valores superiores a 10 como un riesgo alto.

A continuación, se procede a realizar una tabla evaluando criticidad y frecuencia de los diferentes sistemas de la planta para verificar en que sistema debemos enfocar el esfuerzo de realizar el análisis de modo de fallas y posterior realizar una propuesta de plan de mantenimiento.

Tabla 7 evaluación de consecuencias en los sistemas de la planta

	Daño al personal	Perdida de Producción	Tiempo de puesta en marcha del equipo	Tiempo Promedio Entre Fallas
Dosificación previa	1	1	1	1
Instalación de secado	2	1	1	1
Quemador	2	2	2	3
Instalación de eliminación de polvo	2	1	1	2
Torre de mezcla y cribado	3	5	5	4
Silo de carga del material mixto	2	2	2	2
Suministro de material de llenado	2	2	2	2

Suministro de Betún	1	4	4	1
Sistema de adición en frio RC	2	1	1	2
Compresor	2	2	2	2
Sistema de alimentación de granulado	2	1	1	3

Fuente: Autoría Propia

Tabla 8 evaluación de frecuencia en los sistemas de la planta

Sistema	Nivel de Riesgo
Dosificación previa	1
Instalación de secado	2
Quemador	4
Instalación de eliminación de polvo	4
Torre de mezcla y cribado	12
Silo de carga del material mixto	4
Suministro de material de llenado	4
Suministro de Betún	1
Sistema de adición en frio RC	4
Compresor	4
Sistema de alimentación de granulado	6

Fuente: Autoría Propia

Como se puede observar en la tabla de nivel de riesgo, el sistema con un riesgo más alto es el sistema de torre y mezcla por lo cual se procederá a realizar el análisis al elevador de cangilones perteneciente al sistema de torre y mezcla.

8.2 Componentes mantenibles más críticos de la planta y sus parámetros normales de funcionamiento en los diferentes sistemas.

A continuación, se encuentra el análisis del sistema más crítico de la planta de asfalto, el cual fue producto del desarrollo de la matriz de criticidad, así mismo se indicaron los parámetros normales de funcionamiento Vs lo que actualmente desempeña el equipo

8.2.1 Funciones Sistema elevador de Cangilones en Caliente

Una vez definida la matriz de criticidad se procede a realizar o identificar los componentes más críticos de sistema de elevación por cangilones y sus parámetros normales de funcionamiento.

A continuación, se van a listar las funciones del sistema de elevador de cangilones en caliente, serán tenidas en cuenta funciones primarias y secundarias que abarcan funciones de seguridad, contención entre otras.

Tabla 9 Funciones del sistema de elevador de cangilones en caliente

HOJA DE INFORMACIÓN RCM II	PLANTA DE ASFALTO BENNINGHOVEN
	ELEVADOR DE CANGILONES EN CALIENTE
1	Transportar Agregados desde el tambor secador hasta la criba a una razón de 123 T/h
2	Contener los agregados dentro del conducto un 100%
3	Impedir el funcionamiento del sistema con las compuertas de inspección abiertas
4	Mantener el conducto en posición horizontal sin vibraciones mayores
5	Contener el aceite lubricante dentro del motorreductor de accionamiento de las cadenas
6	Operar con un consumo de 15.8 kW/h +/- 5%

Fuente: Autoría Propia

8.2.2 Fallas funcionales

Como es mencionado en la norma SAE JA 1012 es importante definir las fallas en término de la pérdida de funciones ya se total o parcialmente. A continuación, se relacionan las fallas asociadas a cada una de las funciones citadas anteriormente

Tabla 10 Fallas funcionales

SUBSISTEMA: ELEVADOR DE CANGILONES EN CALIENTE FUNCIONES,	FALLA FUNCIONAL
Transportar Agregados desde el tambor secador hasta la criba a una razón de 123 T/h	Incapaz de transportar agregados desde el tambor secador hasta la criba a una razón de 123 T/h
Contener los agregados dentro del conducto un 100%	Fuga de material por medio del conducto
Impedir el funcionamiento del sistema con las compuertas de inspección abiertas	el sistema funciona con las compuertas abiertas
	El sistema no funciona aun con las compuertas cerradas
Mantener el conducto en posición vertical sin vibraciones mayores	el conducto vibra excesivamente durante la operación del sistema
Contener el aceite lubricante dentro del motorreductor de accionamiento de las cadenas	Fuga de aceite lubricante del motorreductor de accionamiento

Operar con un consumo de 15.8 kW/h	Operar con un consumo mayor a 15,8 5.8 kW/h
	Operar con un consumo menor a 15,8 5.8 kW/h

Fuente: Autoría Propia

8.2.3 Modos de falla

Tabla 11 Modos de falla función Transportar Agregados desde el tambor secador hasta la criba a una razón de 123 T/h

SUBSISTEMA: ELEVADOR DE CANGILONES EN CALIENTE FUNCIONES,	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA POTENCIAL
Transportar Agregados desde el tambor secador hasta la criba a una razón de 123 T/h	Incapaz de transportar agregados desde el tambor secador hasta la criba a una razón de 123 T/h	Fatiga, desgaste o fractura de los rodamientos rueda segmentada sin dientes
		Desgaste o ruptura del tornillo tensor de la cadena
		Perdida de señal del transductor de pulsos
		Desgaste, fractura, corrosión o deformación de los componentes de la cadena.
		Desgaste del cangilón
		Desgaste de la rueda segmentada sin dientes
		Desgaste de la rueda segmentada dentada

		Fatiga, desgaste o fractura de los rodamientos rueda segmentada dentada
		Motor eléctrico cortocircuitado
		Fatiga, desgaste o fractura de los rodamientos del motorreductor
		Desgaste piñones del motorreductor

Fuente: Autoría Propia

Tabla 12 Modos de falla función Contener los agregados dentro del conducto un 100%

SUBSISTEMA: ELEVADOR DE CANGILONES EN CALIENTE FUNCIONES,	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA POTENCIAL
Contener los agregados dentro del conducto un 100%	Fuga de material por medio del conducto	Desgaste de las láminas del conducto

Fuente: Autoría Propia

Dado que la falla asociada a la función Impedir el funcionamiento del sistema con las compuertas de inspección abiertas no se consideró frecuente con el equipo de mantenimiento y operación no se realiza el análisis a esta falla funcional.

Tabla 13 Modos de falla función Mantener el conducto en posición vertical sin vibraciones mayores

SUBSISTEMA: ELEVADOR DE CANGILONES EN CALIENTE FUNCIONES,	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA POTENCIAL
Mantener el conducto en posición vertical sin vibraciones mayores	el conducto vibra excesivamente durante la operación del sistema	Desajuste de los tornillos de fijación al piso Desgaste de los pasadores de sujeción al chasis de la maquina

Fuente: Autoría Propia

En la figura 24 se observa el sistema de cadena de cangilones, en la cual, se aprecia el estado actual de la cadena.



Figura 24 Cadena elevador de cangilones

En la figura 25 se ve el mecanismo de cangilones, el cual sirve para transportar el material de manera vertical.



Figura 25 cangilón

En la figura 26 se observa el estado de la rueda segmentada, la cual ayuda a realizar la tracción para hacer la elevación o movimiento vertical del material transportado.



Figura 26 Rueda segmentada sin dientes

En la figura 27 se evidencia el estado actual de chumacera, en la cual no se le da una limpieza adecuada y se presenta acumulación de grasa y capas de polvo, lo que permite que su refrigeración no sea la apropiada.



Figura 27 Chumacera rodamiento rueda segmentada sin dientes

Así mismo en la figura 28 se aprecia el sensor de velocidad, en la cual, se logra medir la velocidad de la de la rueda dentada y así mismo establecer la velocidad de transporte de material.



Figura 28 sensor de control de velocidad

En la figura 29 se presenta la rueda segmentada con denta, la cual facilita la tracción de la cadena, actualmente se encuentra con una vida útil del 90%



Figura 29 Rueda segmentada dentada

También se da a conocer el rodamiento de la rueda dentada segmentada lado motorreductor, presenta poca limpieza y acumulación de capas de polvo, evitando que esta disipe su temperatura de manera apropiada



Figura 30 rodamiento rueda dentada segmentada lado motorreductor

En la figura 30 se presenta el rodamiento de la rueda dentada, cual hace que su eje mantenga la posición adecuada para funcionar de mecánicamente bien.



Figura 31 rodamiento rueda dentada segmentada lado opuesto motorreductor

8.3 Actividades de mantenimiento para establecer la rutina adecuada al sistema de elevador de cangilones en caliente

A continuación, se relaciona la propuesta del plan de mantenimiento sugerido al elevador de cangilones para garantizar la confiabilidad de este sistema:

Tabla 14 propuesta plan de mantenimiento

 COMPAÑÍA DE TRABAJOS URBANOS S.A.S.	PLAN DE MANTENIMIENTO ELEVADOR DE CANGILONES EN CALIENTE PLANTA DE ASFALTO BENNINGHOVEN ECO 2000		
	Elaboro:	Carlos Arturo Parra Alvaro Camilo Villalobos	
Descripción	Intervalo	Tipo de Mantenimiento	
Comprobar ruidos de choque. Tensar la cadena y acortarla si procede	Diario	Preventivo	
Medir espesores de bujes de cadena con medidor de espesores ultrasonico y sustituir si procede	Trimestral	Predictivo	
Medir desgaste del cangilon y sustituir si procede	Trimestral	Predictivo	
Renovar grasa de los rodamientos e accionamiento	Semestral	Preventivo	
Medir desgaste de superficie de contacto rueda segmentada sin dientes	Trimestral	Predictivo	
Limpiar transductor de pulsos	Semanal	Preventivo	
Medir desgaste de superficie de contacto rueda segmentada dentada	Trimestral	Predictivo	
Cambiar el aceite de engranajes del motorreductor de accionamiento	Bianual	Preventivo	
Verificar Desgaste de los pasadores de sujecion del elevador al Chasis de la maquina	Semanal	Predictivo	
Realizar un analisis de vibraciones de los rodamientos de los ejes de accionamiento	Trimestral	Predictivo	
Tomar una muestra del aceite del motorreductor para realizar un analisis de laboratorio	Semestral	Predictivo	

Como se puede observar se encuentran contempladas tareas tanto de mantenimiento preventivo como de mantenimiento predictivo, estas últimas tareas son las que requerían una inversión para su implementación.

8.3.1 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

8.3.1.1 Comprobar ruidos de choque. Tensar la cadena y acortarla si procede

Proceda a delimitar la zona del elevador de cangilones en caliente y comunique al equipo de trabajo de operaciones y mantenimiento que se va a proceder a realizar esta revisión, también es importante verificar que la planta no haya estado en operación durante las últimas dos horas ya que la temperatura de los componentes puede causar daños físicos. Después de asegurar los puntos anteriores proceda a destapar la tapa de inspección de las cadenas y proceda a comunicar al operador que accione las cadenas de forma manual desde la cabina de operación, verifique que no existe un ruido anormal en su funcionamiento. De evidenciar un ruido anormal proceda a tensionar la cadena desde el mecanismo de tensión que se encuentra ubicado en el lateral del elevador, si después de realizado este trabajo el ruido no desaparece y se evidencia visualmente que la cadena esta cedida proceda a recortar un paso de la cadena, realice este proceso hasta lograr los parámetros normales de funcionamiento.

8.3.1.2 Medir espesores de los bujes de la cadena con un medidor ultrasónico y sustituir si procede

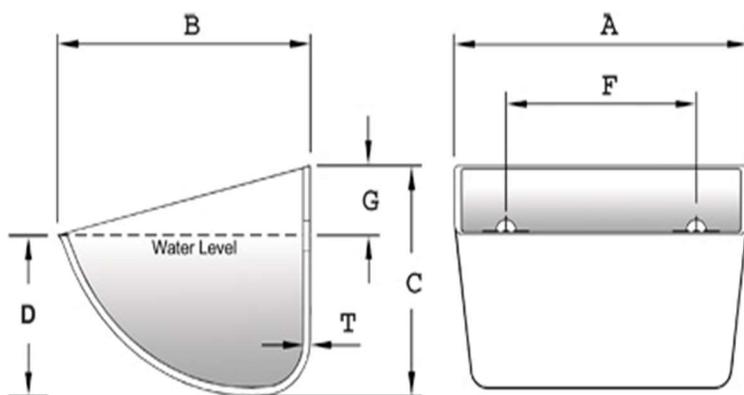
Proceda a delimitar la zona del elevador de cangilones en caliente y comunique al equipo de trabajo de operaciones y mantenimiento que se va a proceder a realizar esta revisión, también es importante verificar que la planta no haya estado en operación durante las últimas dos horas ya que la temperatura de los componentes puede causar daños físicos. Con un equipo de

medición de espesores ultrasónico se procede a calibrar el equipo y realizar la medición, si el desgaste es excesivo proceda a sustituir.

8.3.1.3 Medir el desgaste del cangilón y sustituir si procede

Proceda a delimitar la zona del elevador de cangilones en caliente y comunique al equipo de trabajo de operaciones y mantenimiento que se va a proceder a realizar esta revisión, también es importante verificar que la planta no haya estado en operación durante las últimas dos horas ya que la temperatura de los componentes puede causar daños físicos. Con un calibrador pie de rey proceda a medir el cangilón en tres puntos diferentes de su espesor “T” a lo largo de la longitud “A” según la figura 32. Si evidencia que una medida es inferior al 50% de la medida inicial del equipo proceda a cambiar el cangilón soltando los dos tornillos de sujeción a la cadena, haga este procedimiento con todos los cangilones que sea necesario.

Figura 32 medidas generales de un cangilón



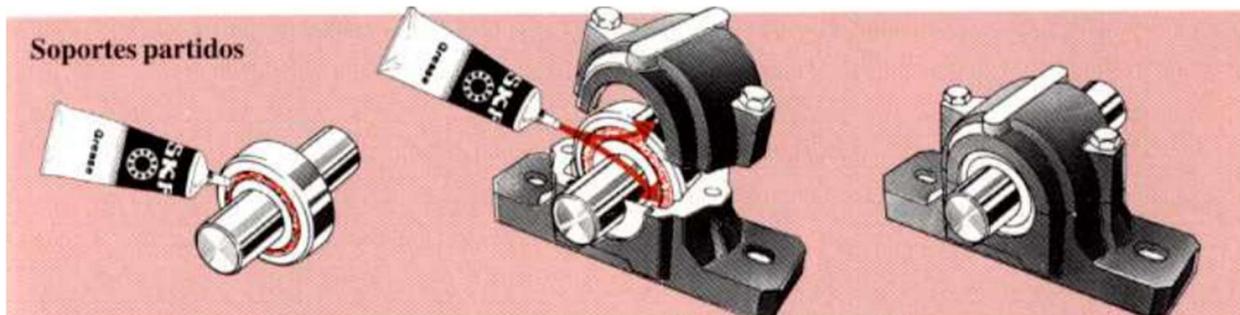
Nota: medidas generales de un cangilón, tomado de <https://go4b.co.uk/es/how-to-measure-your-elevator-bucket> 4 B Group

8.3.1.4 Renovar la grasa de los rodamientos de accionamiento

Dado que los rodamientos de accionamiento son diferentes en la parte de la rueda segmentada dentada y no dentada se tienen dos procesos diferentes, en las figura 33 y la figura

34 podemos observar los diferentes procesos para renovar la grasa lubricante para estos dos tipos de chumaceras

Figura 33 procedimiento de renovacion de grasa en los rodamientos de la rueda dentada



Nota: procedimiento de engrase de rodamientos en chumaceras en soportes partidos, tomado de manual SKF de mantenimiento de rodamientos

Figura 34 procedimiento de renovacion de grasa en los rodamientos de la rueda segmentada no dentada



Nota: procedimiento de engrase de rodamientos en chumaceras en soportes partidos, tomado de manual SKF de mantenimiento de rodamientos

8.3.1.5 Medir desgaste de superficie de contacto rueda segmentada sin dientes

Proceda a delimitar la zona del elevador de cangilones en caliente y comunique al equipo de trabajo de operaciones y mantenimiento que se va a proceder a realizar esta revisión, también es importante verificar que la planta no haya estado en operación durante las últimas dos horas

ya que la temperatura de los componentes puede causar daños físicos. Después de asegurar los puntos anteriores proceda a destapar la tapa de inspección de las cadenas y suelte el tornillo de tensión para liberar la rueda segmentada sin dientes o tensora y mida con un calibrador pie de rey el espesor de la zona de trabajo de la rueda segmentada, reemplace en caso de ser necesario.

8.3.1.6 Limpiar transductor de pulsos

Con la planta parada proceda a desmontar el transductor de pulsos que se encuentra ubicado en el eje inferior del elevador de cangilones en caliente, después limpie con un solvente los posibles contaminantes que pueda tener adheridos (normalmente por malos procedimientos de engrase llega grasa a la zona de lectura del transductor), instale el transductor nuevamente.

8.3.1.7 Medir desgaste de superficie de contacto rueda segmentada sin dientes

Proceda a delimitar la zona del elevador de cangilones en caliente y comunique al equipo de trabajo de operaciones y mantenimiento que se va a proceder a realizar esta revisión, también es importante verificar que la planta no haya estado en operación durante las últimas dos horas ya que la temperatura de los componentes puede causar daños físicos. Después de asegurar los puntos anteriores proceda a destapar la tapa de inspección superior y suelte el tornillo de tensión para liberar la rueda segmentada dentada y mida con un calibrador pie de rey la profundidad de los dientes de la rueda segmentada, reemplace en caso de ser necesario.

8.3.1.8 Cambiar el aceite de engranajes del motorreductor de accionamiento

Colocar un recipiente colector debajo del tapón de vaciado del aceite o de la llave de purga del aceite, retirar completamente el tapón de nivel de aceite o el tapón roscado con varilla de sonda si se utiliza un depósito de nivel de aceite y el tapón de vaciado del aceite.

Extraer todo el aceite del reductor. si el retén del tapón de vaciado del aceite o del tapón del aceite en la rosca está dañado, debe utilizarse un nuevo tapón de vaciado del aceite o debe

limpiarse la rosca y humedecerla con pegamento de seguridad antes de atornillarla. Atornillar el tapón de vaciado del aceite en el orificio y apretarlo con el par de apriete correspondiente.

Rellenar con aceite nuevo del mismo tipo a través del orificio del nivel de aceite y con un dispositivo de relleno adecuado hasta que el aceite comience a salir por ese mismo orificio. (El aceite se puede introducir también por el agujero para la purga o por un tapón roscado situado por encima del nivel de aceite.

8.3.1.9 Verificar desgaste de los pasadores de sujeción del elevador al chasis

Se procede a hacer el recorrido por la viga de sujeción del elevador de cangilones y se verifica visualmente el desgaste de los pasadores en caso de observar una anomalía sustituir el pasador.

8.3.1.10 Análisis de Vibraciones de rodamientos y muestra de aceite del motorreductor

En el procedimiento de análisis de vibraciones dada la periodicidad de las pruebas y el costo del equipo se opta por hacer una subcontratación de este servicio. El análisis de las muestras de aceite también lo realiza el proveedor de lubricantes.

9 Análisis Financiero

Como el proyecto de implementar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM II va a requerir de distintas técnicas de mantenimiento predictivo y preventivo esto a su vez generara unos costos asociados, para poder tener un visto bueno de la gerencia general y la gerencia financiera se aclararán a continuación esos costos y su vez los beneficios que se obtendrán de la implementación de estos planes.

Para esto vamos a calcular el ROI en esta propuesta, a continuación, relacionamos la fórmula del ROI

$$ROI = \frac{GANANCIAS}{INVERSIÓN}$$

La inversión suele estar compuesta por costos asociados equipos, capacitación, personal adicional si es requerido.

Tabla 15 Inversión proyecto

INVERSIÓN	
Descripción	Valor
Equipo medidor de vibraciones	\$ 10.500.000,00
Cámara termográfica	\$ 12.000.000,00
Medidor de espesores ultrasónico	\$ 14.000.000,00
Curso Análisis de Vibraciones (Nivel I, II y III)	\$ 8.000.000,00
curso de Termografía	\$ 2.500.000,00
Total	\$ 47.000.000,00

Las ganancias por lo general nos son tan fácilmente descriptibles, para esto nos apoyamos en la curva PF, la cual nos indica el estado de un activo con respecto al tiempo.

La ganancia asociada es la diferencia de los costos en el punto F menos los gastos asociados en el punto P.

Tabla 16 calculo ganancia obtenida por implementación

CALCULO DE GANANCIA						
	Costo X hora	Horas/ cantidad	Trabajos por mantenimiento propuesto	Horas/ cantidad	Trabajos en el contexto actual	Ahorro
Tiempo de parada por producción	\$ 27.222.222,00	2	\$ 54.444.444,00	5	\$ 136.111.110,00	\$ 81.666.666,00
Trabajo de mantenimiento	\$ 1.500.000,00	2	\$ 3.000.000,00	5	\$ 7.500.000,00	\$ 4.500.000,00
Horas Extras de trabajos de mantenimiento	\$ 1.700.000,00	-	\$ -	2	\$ 3.400.000,00	\$ 3.400.000,00
Repuestos	\$ 5.500.000,00		\$ -	1	\$ 5.500.000,00	\$ 5.500.000,00
					Total	\$ 95.066.666,00

Como se observa en la tabla 16, se presentan dos panoramas los cuales se evalúan con referencia al costo por hora de producción. En los dos panoramas vemos que tenemos costos asociados por trabajos de mantenimiento y parada de producción, pero al implementar la propuesta realizada se reducirían los costos de horas extras y los repuestos. La diferencia o la ganancia propuesta es de \$95.066.666, este valor alto es debido a que la hora de producción a costo de venta es de \$27.222.222 aproximadamente (puede variar según especificaciones de mezclas).

Con estos datos obtenidos procedemos a calcular el ROI

$$ROI = \frac{\$95.066.666}{\$47.000.000} \qquad ROI = 2.02$$

Este resultado nos indica que el retorno sobre la inversión hecha en el plan de mantenimiento propuesto es de un 202% lo cual es muy positivo y se espera que la aprobación de este presupuesto para el área de mantenimiento sea dada.

10. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Después de haber realizado el análisis correspondiente a los sistemas de la planta de asfalto Benninghoven Eco 2000, mediante la matriz de criticidad se logró determinar que el componente más crítico de esta planta corresponde al sistema de cangilones debido a que este sistema realiza la distribución o suministro de material requerido para el proceso de producción de la mezcla asfáltica
- El estado actual del sistema más crítico de la planta de asfalto y debido a la inversión que la empresa le ha realizado y pocas horas de trabajo se encuentra en buen estado y con vida útil, cada uno de sus subsistemas, brindando confiabilidad en su operación.
- Se establecen rutinas de mantenimiento con frecuencias, lista de chequeo, análisis tribológico y descripción de las actividades que se deben realizar en el componente más crítico, con el fin de garantizar la vida útil de sus componentes y pieza de desgaste.
- La confiabilidad de la planta de asfalto Benninghoven Eco 2000, está dada a la trazabilidad que se dé, durante las intervenciones y análisis que se realizan de mantenimiento correctivo y/o preventivo mediante RCMII, dando cumplimiento al plan de mantenimiento presentado, así mismo se podría mejorar u optimizar los procesos de la empresa, con el fin de identificar cuando realizar las intervenciones debidamente programadas.

- Dado el gran tamaño de la planta se debió reducir el objeto de análisis del equipo al grupo de componentes del elevador de cangilones en caliente dada su criticidad.
- La planta de asfalto Benninghoven Eco 2000, al momento del inicio contaba con un plan de mantenimiento muy básico basado simplemente en las recomendaciones del fabricante, con el trabajo presentado se da una visión más amplia de mantenimiento para este activo mejorando la confiabilidad del equipo.
- La viabilidad del proyecto es muy alta dado que el costo de producción de la planta es muy alto, se estima un valor aproximado de \$27.000.000 por hora.

Recomendaciones

- Es importante empezar implementar estas medidas de mantenimiento propuesto para prevenir fallas en el futuro.
- La empresa debe ampliar su departamento de mantenimiento para poder realizar este análisis de RCM para el total de la planta.
- Es importante realizar un convenio con una empresa de mantenimiento predictivo para lograr mejorar los precios de las tarifas ofertadas.
- En el futuro se puede considerar un plan de capacitación del personal para empezar a realizar tareas de mantenimiento predictivo de manera autónoma.

- Dado el personal con el que cuenta la compañía sería una buena practica poder combinar esta técnica de mantenimiento con TPM.

11 Bibliografía

Pico Espín, E. C. (2016). PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA. *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO*.

- Andogoya, R. (2005). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) del. *Escuela Politécnica Nacional*.
- Barros Leal, J. A., & Martínez Espinoza, J. C. (2018). Modelo para detección y simulación de fallas bajo la gestión de mantenimiento y proyectos. *Informador Técnico*, 11-5 -15.
- Becerril Rosales, I., Gutierrez Balderas, J., & Hurtado Gomez, R. (2018). 5.1.2.3 Implantación de un sistema de mantenimiento preventivo para el aumento de la eficiencia de la maquinaria en una planta de fundición. *Revista Ciencia Administrativa*, 588-603.
- Espinosa Martínez, J., de la Paz-Martínez, E., Pérez Bermúdez, R., & Acosta Pérez, I. (2020). CONTRIBUCIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA EL ESTUDIO DE FALLOS A EQUIPOS CONSUMIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA. *Centro Azúcar*, 22-32.
- Gasca, M., Camargo, L., & Medina, B. (2017). Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial. *Información Tecnológica*, 111-124.
- Mendoza R, H. (2000). El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. *ingeniería Mecánica*, 13-19.
- propia, E. (s.f).
- Ramirez, c. J., & Moreno, H. F. (2017). ELABORACIÓN DE UN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y DISPONIBILIDAD PARA LA ATRACCIÓN X-TREME DEL PARQUE MUNDO AVENTURA, TOMANDO COMO REFERENCIA LAS NORMAS, SAE JA1011 Y SAE JA1012. *UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS*, 28 29.
- RAMIREZ, J. C., & Moreno, H. F. (2017). RCM Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. *ELABORACIÓN DE UN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y DISPONIBILIDAD PARA*, <https://www.gestiopolis.com/rcm-mantenimientocentrado-en-confiabilidad/>.

ROJAS BARAHONA, R. (2010). Plan para la implementación del mantenimiento centrado en la. *UNIVERSIDAD PARA LA COOPERACION INTERNACIONAL*.

SAE. (2009). Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance. *International JA1011*.

Viveros, P., Stegmair, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Revista Chilena de Ingeniería*, 125-138.