

DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN AL TRÓMEL DE UNA PLANTA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, MEDIANTE METODOLOGÍA RCM2.

INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD DE SEVILLA



TITULACIÓN: INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL ESP. MECÁNICA

16 de Noviembre de 2012

Autor: Juan Sosa Castro

Tutor: Víctor Lissen Ortega

ÍNDICE

1. ÍNDICE	
1. Índice	1
2. Introducción	2
3. Objeto del proyecto	3
4. Fundamentos teóricos de RCM2	4
5. Contexto operacional	11
5.1 Planta y proceso	11
5.2 Sistemas específicos de la cinta transportadora	23
6. Análisis de modos de fallo y efectos del sistema (AMFE)	40
6.1 Hoja de información RCM	40
7. Plan de mantenimiento	42
7.1 Hoja de decisión RCM	42
7.2 Hoja de distribución de tareas	44
8. Discusión de resultados	45
9. Discusión de conclusiones	52
10. Agradecimientos	55
11. Bibliografía	56
ANEXO 1, Hoja de información RCM	57
ANEXO 2, Hoja de decisiones RCM	58
ANEXO 3, Hoja de distribución de tareas	59

2. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se redacta con carácter de Proyecto de Fin de Carrera, para la obtención de quien lo suscribe del título de Ingeniero Técnico Industrial especializado en Mecánica y según los requisitos de una planta industrial de tratamientos de residuos sólidos urbanos.

Dada la necesidad primordial de reducir el tiempo de inactividad de la cinta transportadora ha sido elegido como herramienta para la elaboración del proyecto la metodología RCM2 (Mantenimiento centrado en confiabilidad). Esta es una metodología para determinar los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos en su contexto operacional, que permite definir de forma sistemática las estrategias de mantenimiento para equipos, sistemas y activos, que lleva a las organizaciones a mejorar la confiabilidad de sus instalaciones con mejores resultados en aspectos de seguridad, medioambientales y de productividad.

En los documentos que se presentan a continuación, se recoge información tanto de la metodología empleada como de la planta industrial y el proceso que se lleva a cabo en ella, centrándose la información en el sistema de alimentación al trómel de dicha planta, dado que es el sistema estudiado. Además, se adjuntan los documentos que han sido obtenidos a partir del desarrollo de la metodología de aplicación del RCM2.

El proyecto consta de los documentos siguientes:

- Memoria.
- Hoja de información de RCM2.
- Hoja de decisiones de RCM2.
- Hoja de distribución temporal de actividades.

Con este proyecto se pretende dar un paso adelante en el aprovechamiento de los medios existentes, mejorando la producción tanto cuantitativamente como cualitativamente, sin la necesidad de realizar inversiones en nuevas instalaciones o maquinarias y modernizando el concepto de mantenimiento dentro de la propia empresa. A su vez, este proyecto sirve como proyecto piloto para futuras aplicaciones de dicho mantenimiento en distintos sistemas de la planta de tratamiento de rsu.

3. OBJETO DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como objetivo:

- Realizar un análisis de modos de fallos y efectos (AMFE) del sistema de alimentación al trómel de una planta de residuos sólidos urbanos.
- Determinar las tareas y frecuencias de mantenimiento a los componentes del sistema analizado.
- Discusión de resultados y conclusiones.
- Servir como base para futuras mejoras y/o modificaciones como resultado de un mejor entendimiento del sistema.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE RCM2

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM2)

Definición de confiabilidad

Se puede definir como la capacidad de un producto de realizar su función de la manera prevista. De otra forma, la confiabilidad se puede definir también como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

¿Qué es el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)?

Los orígenes del mantenimiento centrado en confiabilidad ó Reliability-Centred Maintenance (RCM), se remontan a la década de los años 70 del siglo XX, con el objetivo de mejorar los planes de mantenimiento de la aviación civil.

Este sistema de aplicación del mantenimiento permite determinar las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico. Estas tareas de mantenimiento son determinadas en función de las consecuencias de seguridad, de medio ambiente y operacionales de los fallos producidos en dicho activo físico.

El proceso de tratamiento de la información disponible para realizar el proceso de RCM se basa en responder a 7 preguntas:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son los estados de fallo (fallos funcionales) asociados con estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de fallo?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada uno de estos fallos?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada fallo?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir el fallo?
7. ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

Conceptos del RCM

A partir del RCM, se ha demostrado que muchos conceptos del mantenimiento que se consideraban correctos están equivocados. Como ejemplo, la idea de que la mayoría de fallos se producen cuando el equipo envejece ha demostrado ser falsa para la gran mayoría de los equipos industriales.

A continuación se explican algunos conceptos fundamentales para entender el sistema de RCM:

- **El contexto operacional**

Antes de responder a la primera pregunta básica del proceso RCM de cuáles son las funciones deseadas para el equipo, es necesario tener un claro entendimiento del contexto en el que funciona dicho equipo. Esto se debe a que dos equipos absolutamente similares operando en distintas plantas con diferentes contextos operacionales, después de ser sometidos a un proceso de RCM pueden dar lugar a dos planes de mantenimiento totalmente distintos. Un caso típico es el de un sistema de reserva y un sistema principal, las tareas de mantenimiento a realizar en uno y otro serán muy distintas entre ellas.

- **Funciones**

El proceso de RCM comienza por la definición de las funciones deseadas del equipo, tanto de las funciones principales como de las secundarias. Todas deberán ser listadas.

- **Fallos funcionales o estados de fallo**

Los fallos funcionales o estados de fallo identifican todos los estados indeseables del sistema. Éstos están directamente relacionados con las funciones deseadas del equipo. Identificar los fallos funcionales para cada función deseada será un problema trivial.

- **Modos de fallo**

Un modo de fallo es una posible causa por la cual un equipo puede producir un fallo funcional. Comúnmente existirá más de un modo de fallo para cada fallo funcional. Todos los modos de fallo deben ser identificados durante el análisis de RCM.

Es importante a la hora de identificar los modos de fallo dar una idea precisa de porqué ocurre dicho fallo para posteriormente saber como tratar con su mantenimiento.

- **Efectos de fallo**

Constituye una breve descripción de lo que sucede cuando el fallo ocurre. A partir de los efectos de fallo se indica la importancia que tendría cada fallo en caso de producirse.

- **Categorías de consecuencias**

Existen distintas formas de afectar un equipo a sus usuarios.

- + Consecuencias de seguridad: Poniendo en riesgo la seguridad de las personas.
- + Consecuencias de medio ambiente: Afectando al medio ambiente.
- + Consecuencias operacionales: Incrementando los costos o reduciendo el beneficio económico de la empresa.
- + Consecuencias no operacionales: Ninguna de las anteriores.
- + Fallos ocultos: Esta categoría de consecuencias se aplica a aquellos fallos que no suponen ningún impacto salvo que posteriormente ocurra algún otro fallo.



Fig. 4.1.- Características de los modos de fallo.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE RCM2

El criterio a seguir para evaluar tareas de mantenimiento es distinto si las consecuencias de fallo son distintas.

- **Tipos de mantenimiento**

En la aplicación del RCM se diferencian cuatro tipos de mantenimiento distintos:

- + Predictivo
- + Preventivo
- + Correctivo
- + Detectivo

- **El mantenimiento predictivo o “a condición”**

Consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar un fallo antes de que ocurra mediante inspecciones, monitoreos, chequeos, etc.

Para que una tarea a condición sea posible, debe existir alguna condición física identificable que anticipe la ocurrencia del fallo. Además, el tiempo que transcurre desde que el síntoma de fallo es claramente identificable hasta que ocurre el fallo funcional debe ser suficientemente largo para ser de utilidad. Este período de tiempo es el que determina la frecuencia de una tarea a condición.

- **El mantenimiento preventivo (Sustitución o reacondicionamiento cíclico)**

El mantenimiento preventivo se refiere a aquellas tareas de sustitución realizadas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente. Estas tareas solo son válidas para aquellos elementos cuya probabilidad de fallar aumenta rápidamente después de superar su vida útil.

En ciertos casos puede interesar realizar alguna tarea predictiva (Tarea a condición) ya que frecuentemente son menos invasivas y costosas.

La frecuencia de la tarea de sustitución o reacondicionamiento cíclico depende de la edad de la pieza a la cual su probabilidad de fallar aumenta rápidamente, a este periodo de tiempo se le llama “vida útil”.

- **El mantenimiento correctivo o trabajo a la rotura**

Cuando no se elige ninguna tarea de mantenimiento proactiva (predictiva o preventiva) para evitar un fallo, sino que se reparará una vez que ocurra, entonces el mantenimiento elegido es un mantenimiento correctivo.

Este tipo de mantenimiento conviene realizarlo cuando los costes del fallo (directos e indirectos) son menores que el coste de la prevención, o cuando no se puede llevar a cabo ninguna tarea proactiva y no se justifica realizar un rediseño del equipo. Sin embargo, esto solo es válido para los fallos que no tienen consecuencias sobre la seguridad o el medio ambiente, ya que en estos casos es obligatorio hacer algo para reducir o eliminar las consecuencias del fallo.

- **El mantenimiento detectivo o de búsqueda de fallos**

El mantenimiento detectivo o de búsqueda de fallos consiste en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos dispositivos serán capaces de brindar la protección requerida cuando sean necesarios.

El intervalo a cada cual se realiza este tipo de mantenimiento se le denomina intervalo de búsqueda de fallos o FFI (Failure-Finding Interval). Existe una relación entre este intervalo y la disponibilidad del dispositivo de protección.

- **Selección del tipo de mantenimiento adecuado**

En el RCM, la selección de un tipo de mantenimiento u otro dependerá directamente de la categoría de consecuencias a la que pertenece el fallo.

+ Para fallos con consecuencias ocultas, la tarea óptima es aquella que consigue la disponibilidad requerida del dispositivo de protección.

+ Para fallos con consecuencias de seguridad y medio ambiente, la tarea óptima es aquella que consigue reducir la probabilidad de la fallo hasta un nivel tolerable.

+ Para fallos con consecuencias económicas (tanto operacionales como no operacionales), la tarea óptima es aquella que minimiza los costos totales para la organización.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE RCM2

Actualmente, mucha gente piensa en el mantenimiento preventivo como la principal opción al mantenimiento correctivo. Sin embargo, el RCM muestra que en el promedio de las industrias, el mantenimiento preventivo es la estrategia adecuada para menos del 5% de los fallos. De forma que el 95% restante de los fallos se distribuyen de la siguiente manera:



Fig. 4.2.- Distribución promedia del mantenimiento en las industrias.

• El lugar del rediseño en el mantenimiento

Si para cada repetición de un fallo se realiza un rediseño para eliminar la causa de fallo, cada vez tendremos una mayor confiabilidad pero a cambio aumentaremos los costos de ingeniería rápidamente.

Debido a esto, es importante distinguir aquellos casos en los que el rediseño sea justificado de aquellos en los que no. En los rediseños realizados para evitar fallos es conveniente evaluar si existe otra manera de manejar los fallos de forma más apropiada. Además, los rediseños pueden introducir otros fallos cuyas consecuencias deberán ser analizadas también.

Por todo esto, el rediseño debe ser seleccionado generalmente como última opción.

• Árbol lógico de decisiones del RCM2

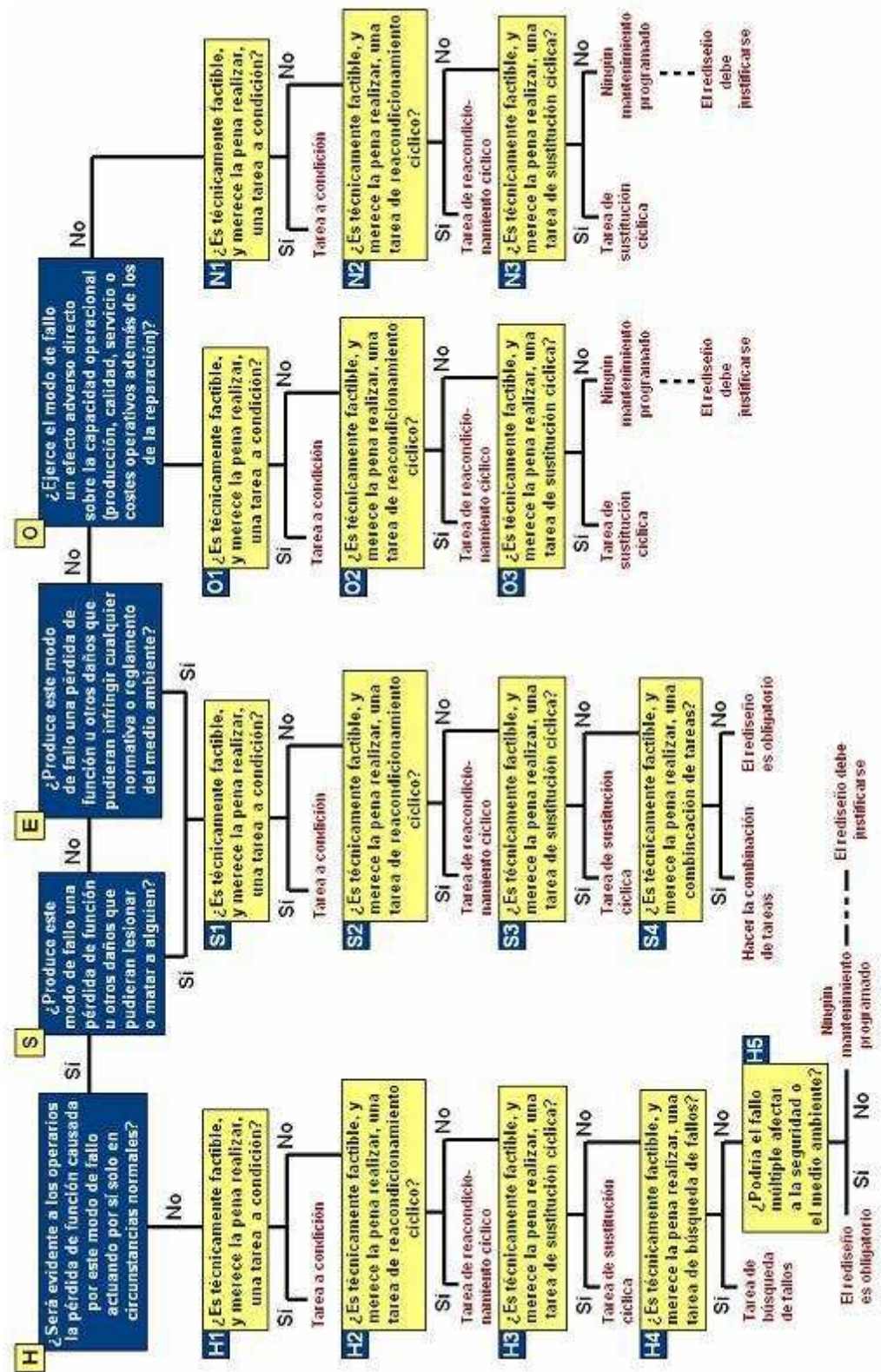


Fig. 4.3.- Árbol lógico de decisiones RCM.

5. CONTEXTO OPERACIONAL.

5.1 PLANTA Y PROCESO

- **Ubicación**

La cinta transportadora se encontrará formando parte de la cadena de producción de una planta industrial en la que se realiza el tratamiento de residuos sólidos urbanos.

En esta planta industrial se reciben los residuos procedentes de la recogida no selectiva de RSU de los municipios colindantes:

- | | |
|---------------------|------------------|
| + Priego de Córdoba | + Fuente-Tójar |
| + Carcabuey | + Almedinilla |
| + Cabra | + Alcalá la Real |

La planta industrial se encuentra ubicada en la provincia de Córdoba, dentro del término municipal de Priego de Córdoba en el polígono La Sierra, parcela 390.



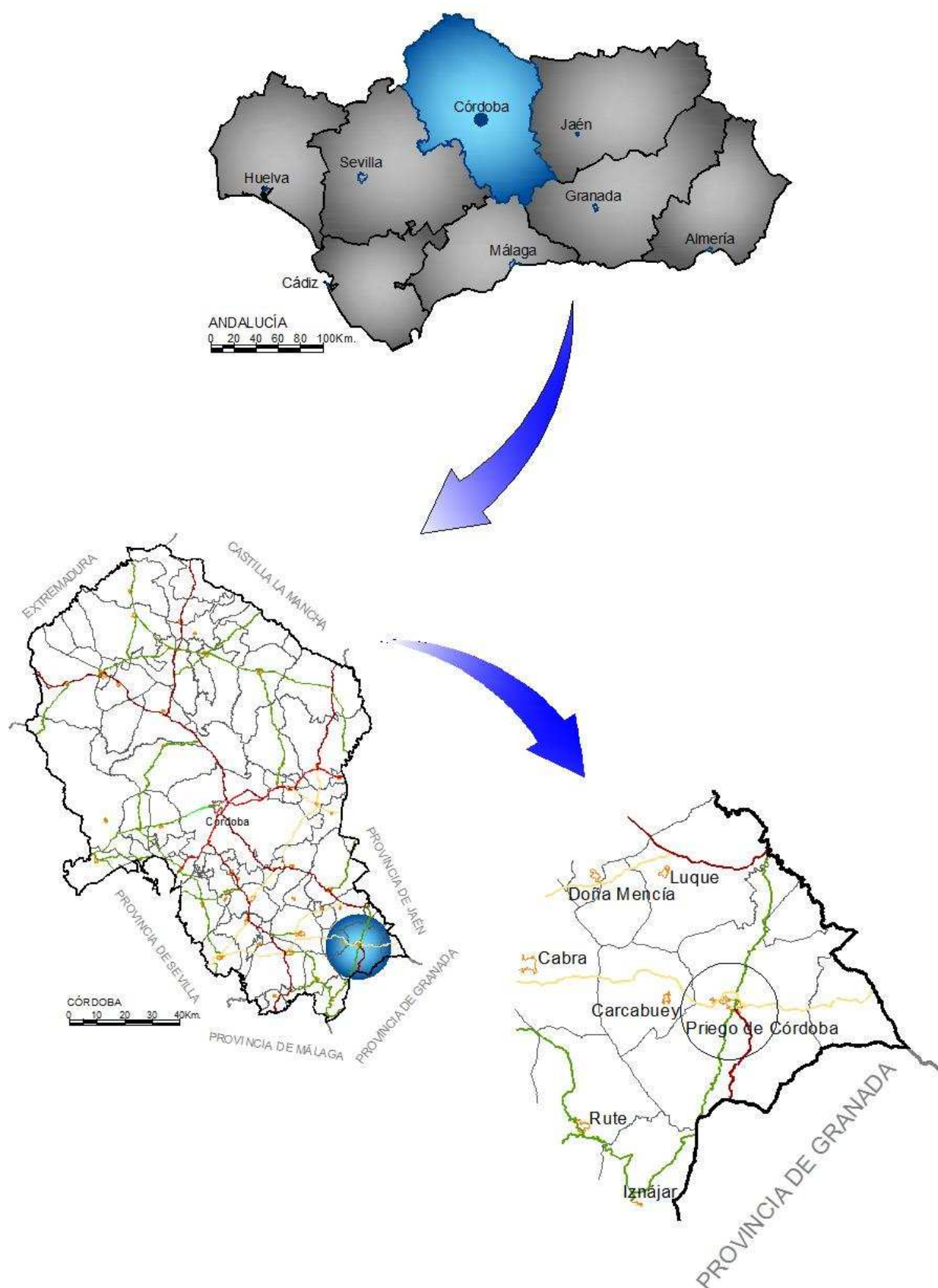


Fig. 5.1.- Ubicación de la planta de tratamiento de rsu.

- **Procesos y capacidad**

Además de la recogida no selectiva de RSU de las localidades citadas se realizan los procesos de:

- + Separación de los residuos en función de su naturaleza.
- + Separación de elementos reciclables para su venta.
- + Almacenamiento de materia orgánica.
- + Almacenamiento de materia inorgánica.
- + Producción de metano.
- + Recogida de los lixiviados.

La planta industrial de tratamiento de RSU funcionará 5 días a la semana (250 días/año), 16 horas diarias divididas en dos turnos de 8 horas. De esta manera tendrá una capacidad de procesado de 50000 Tm/año, 192.31 Tm/día, 12.02 Tm/hora.

- **Resultado del proceso de tratamiento de los RSU**

La composición de referencia de los residuos que llegan a la línea de procesado de la planta industrial se distribuye de la manera siguiente:



Fig. 5.2.- Composición de referencia de los rsu.

Una vez procesados los RSU se obtienen por separados los productos siguientes:

+ Residuos orgánicos	60%
+ Residuos inorgánicos	11%
+ Papel y cartón	13%
+ Plásticos	
○ PET (Tereftalato de polietileno)	5%
○ PEAD (Polietileno de alta densidad)	5%
+ Vidrios	3%
+ Metales férreos	2.5%
+ Metales no férreos	0.5%

Además, a partir de los residuos orgánicos se obtienen también 0.0829 kg de metano (CH₄) por tonelada de residuos sin separar que se procesan, de modo que la producción anual de metano se sitúa en 4145 Kg.

Los residuos orgánicos e inorgánicos se almacenan en sus correspondientes vasos de vertidos, el metano producido se aprovecha para la producción de energía eléctrica y el resto de elementos separados en la planta son comercializados, suponiendo de esta manera una importante fuente de ingresos de la planta industrial.

- **Justificación de la existencia de la cinta transportadora en la cadena de producción**

Para realizar el proceso de tratamiento de los rsu en las diferentes máquinas de la planta industrial siguiendo una cadena automatizada de producción es necesario introducir dichos rsu de algún modo.

Para realizar dicha función existen múltiples alternativas, pero se encuentran además otros requisitos, unos necesarios y otros impuestos para mejorar la eficiencia, calidad y fiabilidad del proceso.

Requisitos necesarios

- + Dosificar la introducción de vertidos en la cadena de procesos
- + Introducir rsu en la cadena de procesos de forma continua
- + Máxima fiabilidad de servicio

Requisitos impuestos

- + Realizar triaje primario

Como resultado de todos los requisitos establecidos se consideró como mejor opción la instalación de una cinta transportadora alimentada por una pala cargadora.

Además, debido al planteamiento de la cadena de producción, la funcionalidad de la cinta transportadora repercute directamente en la capacidad de producir de la planta industrial, se decide implantar este plan de mantenimiento para aportar una mejora en la fiabilidad de la máquina combinado con una reducción de costes de mantenimiento.

- **Función de la cinta transportadora en la planta industrial**

La **función principal** de la cinta transportadora es la de introducir los residuos que han sido depositados en la playa de descarga en la cadena de procesos de forma constante, uniforme y controlada. Además, se utiliza como herramienta para realizar el triaje primario o triaje manual, el cual es realizado sobre la cinta transportadora, extrayendo manualmente los objetos susceptibles de ser reciclados de mayor tamaño.

- **Entorno de la cinta transportadora**

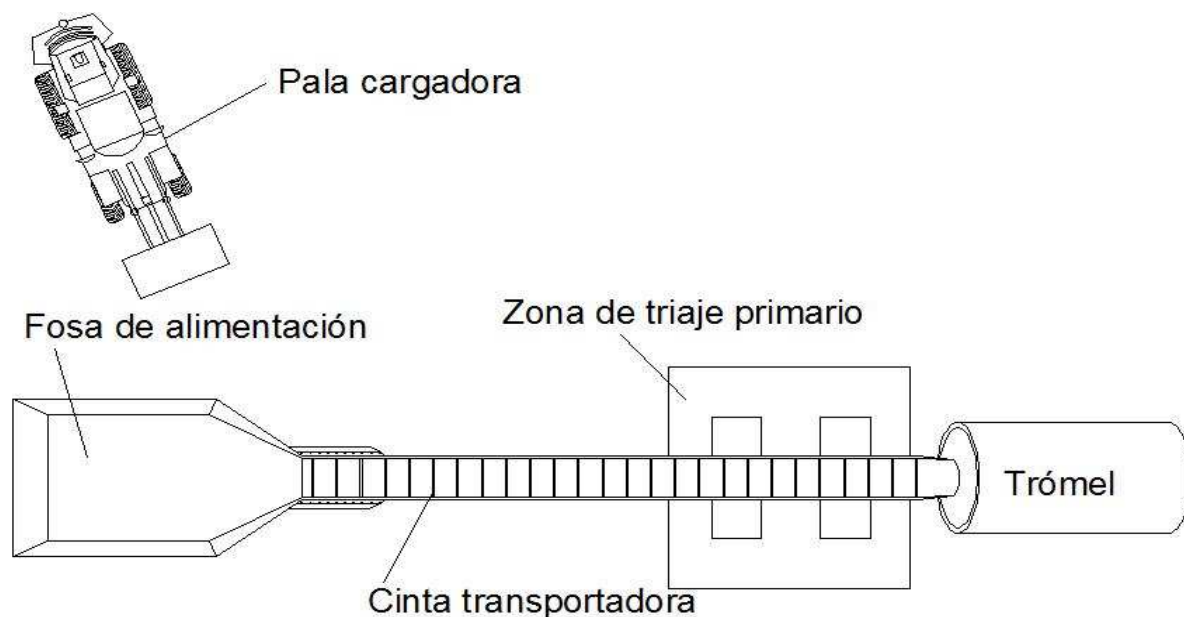


Fig. 5.3.- Entorno de la cinta transportadora.

La cinta transportadora sobre la que se realiza el plan de mantenimiento **se encuentra ubicada** junto a la playa de descarga.

En la **playa de descarga** es el lugar donde se vierten todos los residuos que han sido recogidos previamente en las localidades pertenecientes al área de servicio de nuestra planta industrial. Esta playa de descarga tiene una capacidad de almacenaje de residuos sólidos urbanos equivalente al volumen de residuos producidos durante tres días por las localidades a las que presta servicio nuestra planta industrial.

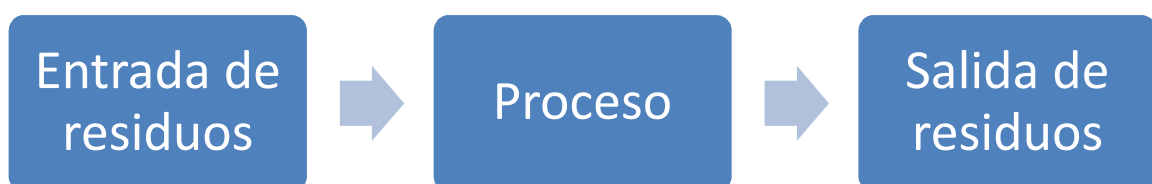
Para verter los residuos en la tolva de entrada de la cinta transportadora es necesario el empleo de una **pala cargadora**. Esta pala cargadora tiene una capacidad de carga de 3.8 m^3 y vierte una media de $2 \text{ m}^3/\text{min}$ en la **tolva de entrada** de la cinta transportadora, la cual posee a su vez una capacidad de almacenaje de 8 Tm.

Una vez que los residuos se encuentran en la tolva de entrada pasan a la cinta transportadora por gravedad. Durante su transporte, son sometidos a un proceso de **triaje manual**, en el cual se separan los residuos reciclables de mayor tamaño y aquellos otros que por sus dimensiones pueden afectar al tratamiento posterior en la cadena de procesado. Superado el **triaje manual**, los residuos que no han sido sustraídos son transportados hasta la bandeja de salida de la cinta transportadora, la cual los conduce hacia el interior del trómel.

A pesar de haber realizado un triaje manual sobre los residuos, gran cantidad de los residuos reciclables permanecen mezclados con residuos que no lo son. Es por esto que se le aplican a lo largo de la cadena de producción diferentes métodos de separación en función de su naturaleza.

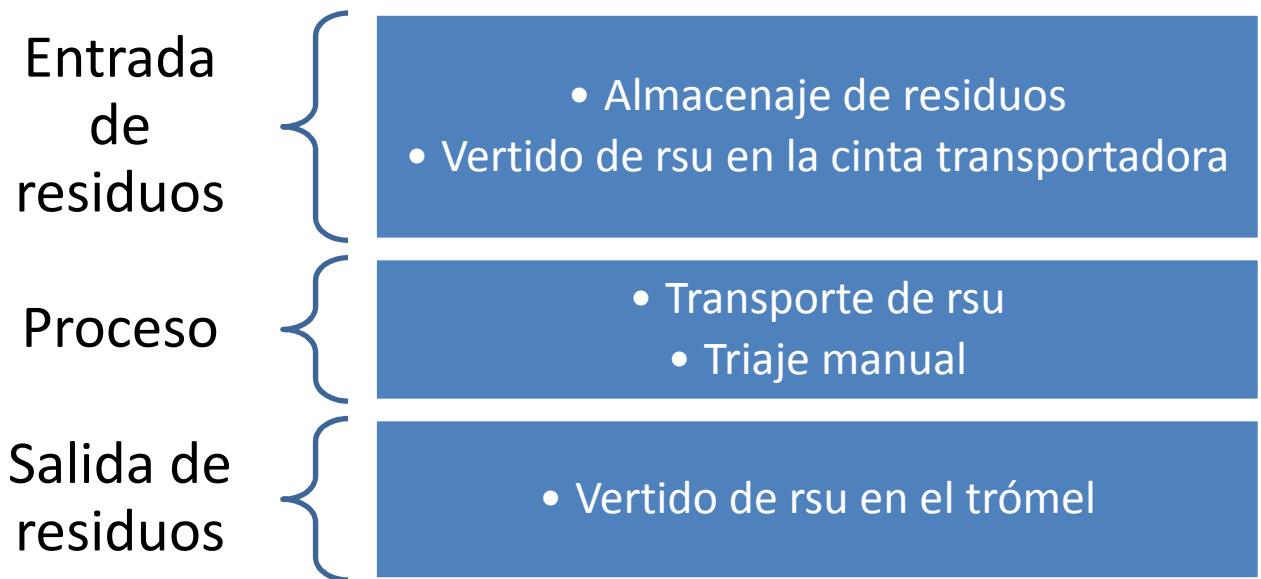
- **Diagrama de procesos**

En el proceso que siguen los rsu en la cinta transportadora se distinguen tres fases:



CONTEXTO OPERACIONAL

Planta y proceso



Almacenaje de rsu

- Los rsu son vertidos por la pala cargadora
- Posee una capacidad de almacenaje de 8 m³ de rsu

Vertido de rsu en la banda transportadora

- El limitador de salida dosifica el vertido de rsu
- Los encauzadores adaptan el vertido continuo de rsu a las dimensiones de la banda transportadora

Transporte de rsu

Triaje manual

- Son separados los materiales reciclables
- Los objetos de grandes dimensiones son extraídos de la cadena de producción

Vertido de rsu en el trómel

- Los vertidos se vierten al interior del trómel
- Salida de los residuos de la cinta transportadora

- **Descripción del conjunto de la cinta transportadora**

Sistemas de la cinta transportadora:

- + Sistema de recepción de rsu
- + Sistema de vertido y dosificación de rsu
- + Sistema de guiado de la banda transportadora
- + Sistema de limpieza de la banda transportadora
- + Sistema de descarga de la cinta transportadora
- + Sistema motriz y de accionamiento
- + Sistema de protección eléctrica
- + Sistema de parada de emergencia

Cada uno de los distintos sistemas de los que dispone la cinta transportadora se compone además de otros dispositivos para su correcta funcionalidad. Los dispositivos más relevantes de cada sistema de la cinta transportadora han sido enumerados a continuación:

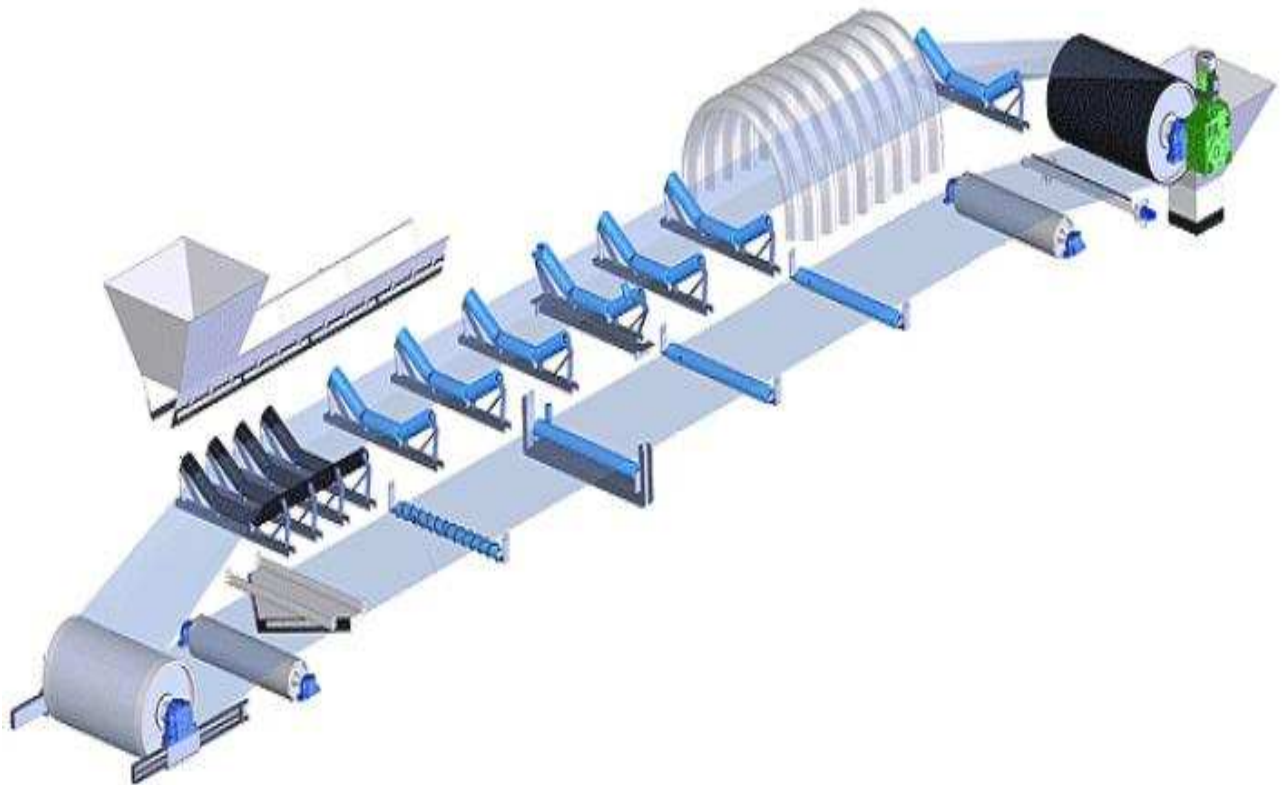


Fig. 5.4.- Esquema cinta transportadora.

Sistema de recepción de rsu

- Tolva de almacenaje de rsu

Sistema de vertido y dosificación de rsu

- Limitador de salida
- Estación de impacto con rodillos amortiguadores
- Encauzador

Sistema de guiado de la banda transportadora

- Estaciones superiores de rodillos lisos
- Estación superior autocentrante
- Rodillos guía
- Estación autocentrante de retorno con rodillos guía
- Estación de retorno con rodillo recto
- Tambor de cabeza engomado
- Tambor de cola

Sistema de limpieza de la banda transportadora

- Rascador recto de cabeza
- Estación de retorno con rodillo limpiador helicoidal
- Rascador en "V"

Sistema de descarga de los rsu

- Bandeja de salida

Sistema motriz y de accionamiento

- Motor eléctrico
- Acoplamiento de alta velocidad
- Reductora

Sistema de protección eléctrica

- Interruptor magnetotérmico
- Interruptor diferencial

Sistema de parada de emergencia

- Interruptor de parada de emergencia
- Dispositivos de accionamiento del interruptor de parada de emergencia

- **Funcionamiento de la cinta transportadora**

Para el funcionamiento de la cinta es fundamental que se viertan los rsu en la **tolva de almacenaje de rsu**. Esta labor se realiza utilizando una pala cargadora.

Los rsu vertidos en la tolva de almacenaje pasan por el **limitador de salida** y son guiados por los **encauzadores** hasta la **banda transportadora**.

Al dejar caer los rsu sobre la banda transportadora, el impacto es absorbido por las **estaciones de impacto con rodillos amortiguadores**, las cuales soportan el peso de los rsu.

A partir de aquí, los rsu son transportados siguiendo el camino de rodillos formado por las **estaciones superiores de rodillos lisos**.

La cinta transportadora utiliza una **estación superior autocentrante y rodillos guía** que evita tanto que la banda transportadora se salga del camino de rodillos como que se desvíe del centro del camino de rodillos.

Durante el transporte de los rsu se realiza el **triaje manual** mediante el cual, se extraen del conjunto de rsu aquellos residuos susceptibles de reciclaje y aquellos que por sus dimensiones pueden producir atascos y averías en la cadena de producción.

Una vez realizado el triaje manual, los rsu son transportados hasta la **bandeja de salida**. A través de ella, los residuos son vertidos en el interior del trómel.

Después de verter los rsu a la bandeja de salida, la banda transportadora pasa por el **tambor de cabeza**, el cual se encarga de moverla y dirigirla hacia el **tren inferior de rodillos** pasando por el **rascador recto de cabeza**, que se encarga de retirar todos los residuos adheridos a la banda por su cara sucia.

En el tren inferior de rodillos se encuentran soportando a la banda transportadora las **estaciones de retorno con rodillo recto** y la **estación de retorno autocentrante con rodillos guía**, la cual, además de soportar la banda transportadora evita que se salga del camino de rodillos inferior.

La banda transportadora, antes de alcanzar el **tambor de cola** para que la redirija al camino superior de rodillos, pasa por una **estación de retorno con rodillo limpiador helicoidal**, el cual, además de soportar el peso de la banda también realiza un nuevo limpiado de la misma por su cara sucia. También es muy importante el limpiado de la banda por su cara limpia antes de entrar en

contacto con el tambor de cola. Para dicha limpieza se utiliza el **rascador en “V”**, el cual se sitúa precediendo al tambor de cola en 0.5 metros aproximadamente.

Una vez la banda transportadora es limpiada por ambas caras, vuelve a comenzar un nuevo ciclo pasando por el tambor de cola.

Para mover todo este conjunto de mecanismos se utiliza un **motor eléctrico** trifásico de 22 kW. El movimiento se transmite a la cinta transportadora mediante un **acoplamiento de alta velocidad** por correas de transmisión de potencia, que conecta el motor eléctrico con la **caja reductora**. En la caja reductora se reduce la velocidad del movimiento y se aumenta el par transmitido.

Dicho movimiento se transmite directamente desde la caja reductora hacia el **tambor de cabeza** para que este último se encargue de mover la banda transportadora.

Un punto indispensable de atención en toda máquina es la protección de las personas en primer lugar y la protección del medio ambiente y de los bienes y equipos a continuación. Para asegurar la protección de estos elementos la cinta transportadora dispone de tres dispositivos distintos para cortar el suministro eléctrico, actuando uno u otro en función del tipo de anomalía.

Comenzando por los dispositivos de accionamiento automático se tienen el **interruptor magnetotérmico**, que protege de las sobreintensidades, ya sean de baja magnitud y prolongadas en el tiempo o de elevada magnitud, y el **interruptor diferencial**, el cual se activa al producirse derivaciones de intensidad a tierra, con el fin de proteger a las personas de descargas eléctricas.

Por último, el dispositivo de accionamiento manual que posee la cinta transportadora es el **interruptor de paro de emergencia**. Este sistema se utiliza para evitar o detener cualquier situación de riesgo, ya sea para las personas, para los bienes y equipos o para el medio ambiente.

Este dispositivo debe poder ser activado desde cualquier punto del perímetro de la cinta transportadora. Para ello se emplean los **dispositivos de accionamiento del interruptor de paro de emergencia**, los cuales mantienen una cuerda tensada alrededor de la cinta, que al actuar sobre ella, activa el interruptor de paro de emergencia.

De esta manera se realiza el ciclo de tratamiento de rsu correspondiente a la cinta transportadora y se tratan de evitar percances humanos, ecológicos y económicos con graves resultados, a veces irreversibles.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

5.2 SISTEMAS ESPECÍFICOS DE LA CINTA TRANSPORTADORA

∞ **Sistema de recepción de rsu**

○ **Tolva de almacenaje de rsu**

Para poder almacenar los rsu vertidos desde la pala cargadora, la cinta transportadora dispone una tolva de entrada con 8 m³ de capacidad. Dicha tolva de almacenaje de rsu posee una amplia superficie de carga para reducir la caída de vertidos fuera de la misma y para evitar la corrosión se encuentra protegida mediante una gruesa capa de pintura.

La superficie del fondo de la tolva tiene una inclinación suficiente para que todos los residuos circulen correctamente hacia el sistema de vertido y dosificación de rsu asegurando que no se crean depósitos de residuos.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

∞ Sistemas de vertido y dosificación de rsu

○ **Limitador de salida**

El limitador de salida se encuentra situado justamente delante del punto donde los residuos se precipitan sobre la banda transportadora desde la tolva de almacenaje.

El limitador de salida consiste en un marco de acero regulable en altura, que actúa bloqueando el paso a aquellos residuos que por sus grandes dimensiones pueden suponer un peligro para los operarios o el colapso de alguna máquina del proceso de tratamiento de rsu. Dicho limitador de salida también es utilizado para controlar el volumen de residuos que pasa por unidad de tiempo hacia la banda transportadora en función de los intereses o necesidades que tengamos en cada momento en la planta industrial.

○ **Estación de impacto con rodillos amortiguadores**

Los rodillos amortiguadores se encuentran colocados en estaciones de impacto de rodillos, que se encuentran situadas en las zonas donde los rsu provenientes de la tolva de almacenaje, impactan contra la banda transportadora al ser vertidos.

Los rodillos amortiguadores son rodillos metálicos comunes que son recubiertos con aros de goma maciza. Toda la superficie del rodillo se encuentra recubierta de goma. Esta goma posee una dureza de 60 ± 5 shores y es resistente al contacto con aceites y grasas.



Fig. 5.5.- Estación de impacto con rodillos amortiguadores.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

Con el empleo de este tipo de rodillos en las zonas de impactos se reduce o evita la perforación y/o el deterioro de la banda transportadora. Este tipo de estaciones de rodillos se colocan con una separación de 250 mm.

○ Encauzador

Los encauzadores se encuentran situados a lo largo de la cinta transportadora desde el punto donde los rsu son vertidos en la banda cubriendo una longitud de 2 metros.

Los encauzadores son placas metálicas situadas a cada lado de la cinta, dispuestas en “V” tal como se observa en la figura 5.6. Los encauzadores se utilizan para evitar la caída de residuos al exterior de la cinta transportadora mientras los residuos se extienden por la superficie de la banda transportadora. Para que este dispositivo sea de utilidad sin dañar la banda transportadora es indispensable acoplarle otros elementos que sean los que mantienen el contacto con la banda sin dañarla. Estos dispositivos son los baberos de goma.

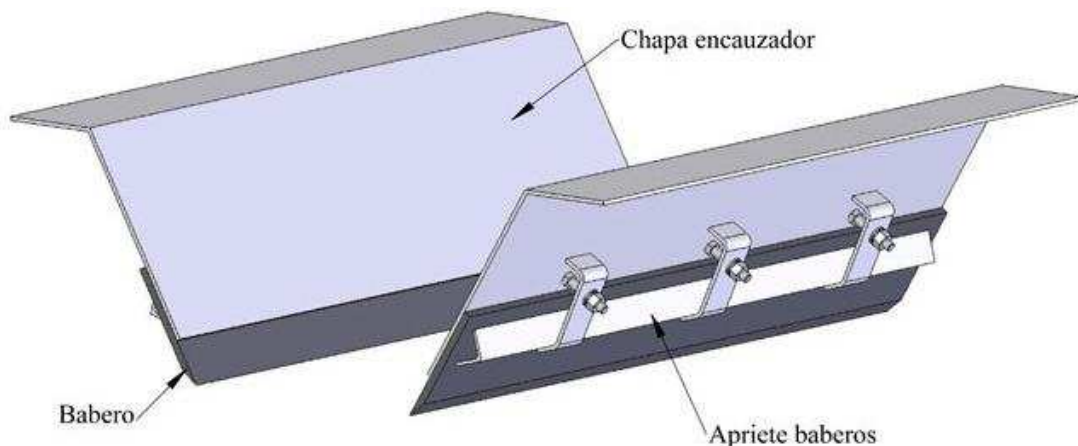


Fig. 5.6.- Encauzador con baberos instalados.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

Babero con labio e
inserción textil



Los baberos de goma evitan el daño de la banda transportadora por el rozamiento, ya que éstos cuentan con una dureza siempre inferior a la de la banda (Dureza < 50 shores). Además, cuentan con un labio para reducir la superficie de contacto con la banda y con un alma textil que proporciona una mayor rigidez al babero para permitir soportar mayores esfuerzos producidos por la carga.

Fig. 5.7.- Babero de goma con alma textil.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

∞ Sistema de guiado de la banda transportadora

○ Estación superior de rodillos lisos

Las estaciones superiores de rodillos lisos se encuentran a lo largo de toda la parte superior de la cinta transportadora, soportando el peso de los elementos que se transportan en ella.

La estructura de estas estaciones portantes están formadas por perfiles angulares, perfiles UPN y pletinas con alojamientos para los ejes de los rodillos.

Las artesas se formarán en ángulo de 20° y la separación entre estaciones de rodillos es de 600 mm. en la zona donde se ubican los encauzadores y de 1000 mm. en el resto del recorrido de la cinta. Además, la posición de estas estaciones es regulable con objeto de centrar la banda transportadora.

Los rodillos que poseen las estaciones de rodillos son de engrase permanente con rodamientos rígidos de simple hilera de bolas. Para que los rodillos prolonguen su vida útil poseen un sistema de estanqueidad, para evitar la penetración de agua y polvo.

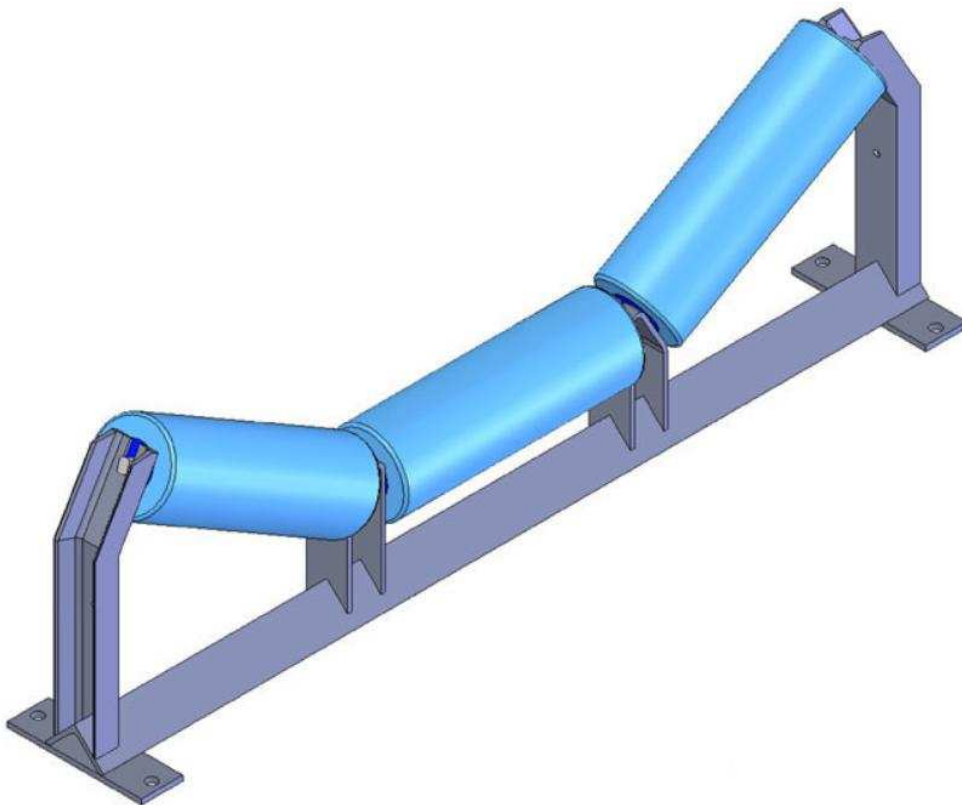


Fig. 5.8.- Estación superior de rodillos lisos.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

○ Estación autocentrante superior

Las estaciones autocentrantes superiores van situadas entre las estaciones superiores de rodillos lisos, siendo utilizadas en cintas transportadoras de más de 20 metros de longitud con el objetivo de corregir la desalineación de la banda transportadora sobre la cinta transportadora.

Dado que la cinta transportadora estudiada tiene una longitud de 25 metros, lleva instalada por tanto una única estación autocentrante superior.

Para que la estación autocentrante funcione correctamente, la estación porta rodillos se encuentra apoyada en dos rodamientos de rodillos cónicos sobre el soporte base, permitiendo así la rotación de la estación y corrigiendo automáticamente la desalineación de la banda.

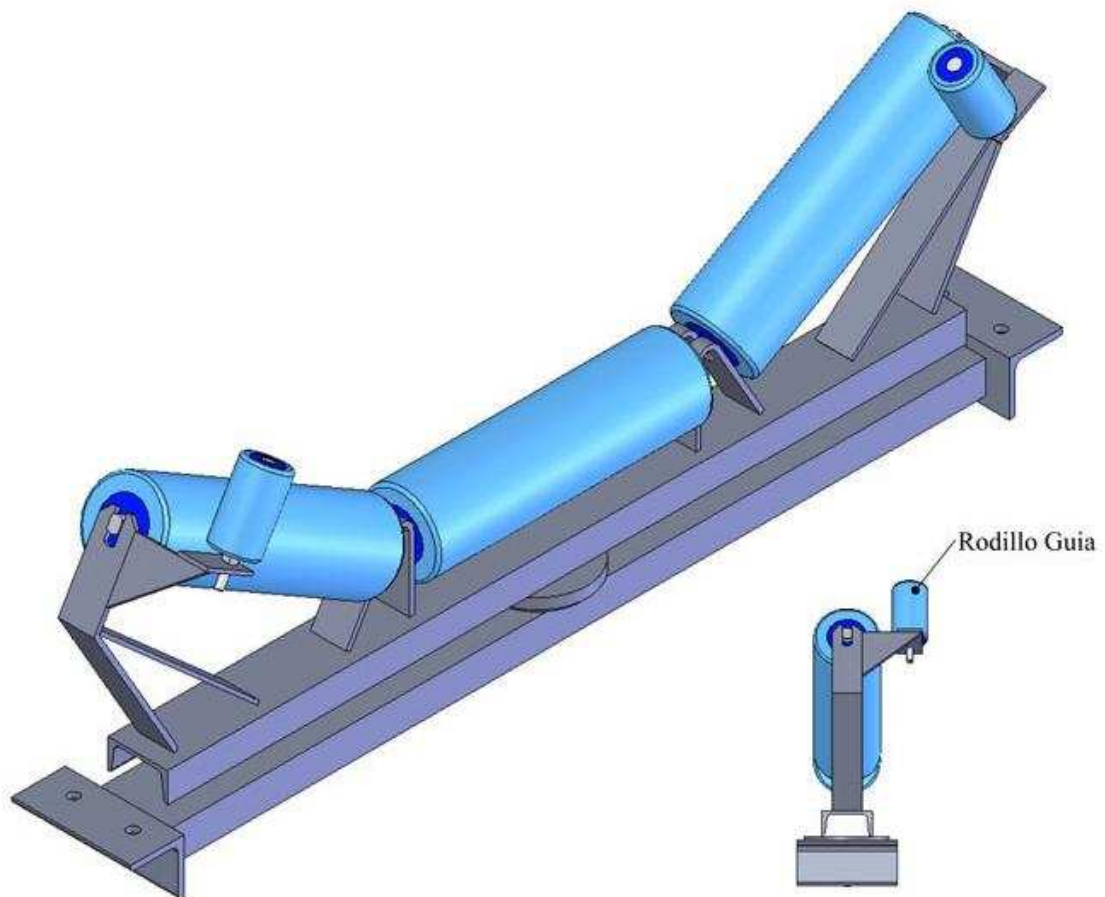


Fig. 5.9.- Estación autocentrante superior con rodillos guía.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

○ Rodillo guía

Los rodillos guía son rodillos verticales con ejes voladizos que se utilizan para evitar que la banda transportadora salga del camino de rodillos al dejarse llevar hacia un lateral.

Sin embargo, es necesario prestar atención para el uso al cual estos rodillos van destinados, ya que el contacto forzado de los rodillos guía con la banda puede dañar el borde. Estos rodillos no eliminan la razón del desplazamiento de la banda hacia fuera, por lo que la banda podría montar sobre el rodillo guía o llegar a deformarse sobre él. Por estas razones, los rodillos guía se utilizan en las estaciones autocentrantes, ya que estas artesas giran automáticamente cuando la banda se desplaza del centro y se autocorrigue.

○ Estación autocentrante de retorno con rodillos guía

A veces en la zona de retorno es necesario corregir el desplazamiento de la banda al igual que en la zona superior, por lo que también en la zona de retorno las estaciones autocentradoras ejercen una acción correctora de la desviación de la banda. El método de funcionamiento es similar al de las estaciones autocentrantes superiores tratadas anteriormente.

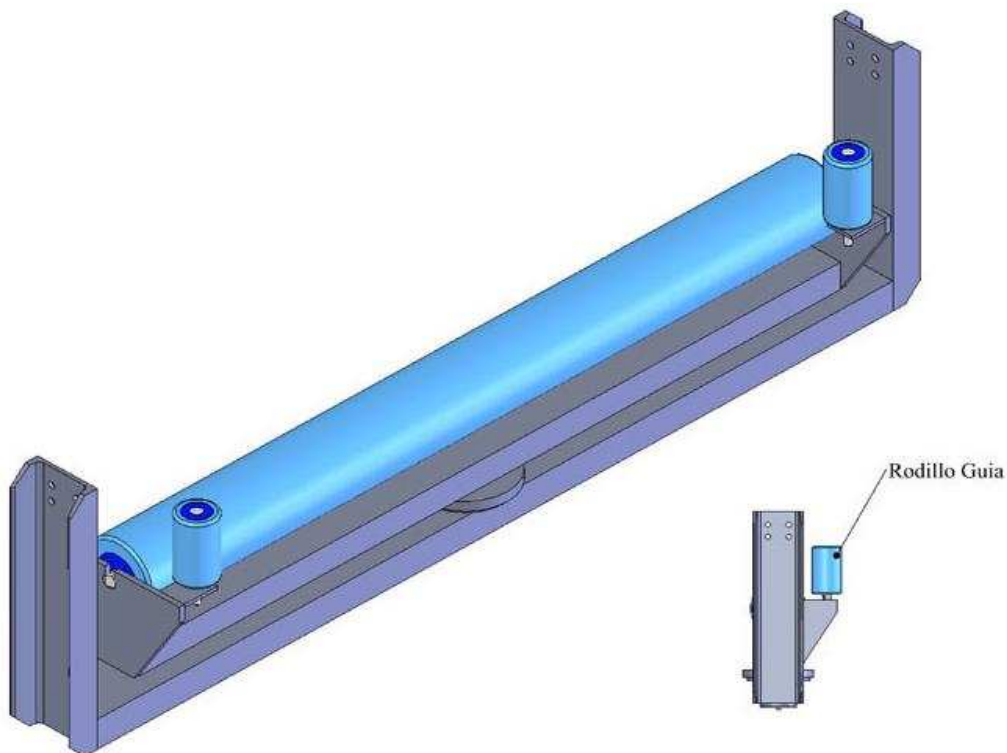


Fig. 5.10.- Estación autocentrante de retorno con rodillos guía.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

Al igual que en las estaciones autocentrantes superiores, estas estaciones también cuentan con dos rodillos guía, situados uno a cada lado del rodillo liso del que dispone la estación. Dada la longitud de la cinta transportadora, solo cuenta con una estación de dicha tipología, dada su longitud (25 metros).

○ Estación de retorno con rodillo recto

Las estaciones de retorno se encuentran a lo largo de toda la parte inferior de la cinta transportadora, distanciadas unas de otras 3000 mm. para soportar el peso propio de la banda transportadora en su retorno a la zona de carga evitando que se encuentre suspendida en largos tramos.

○ Tambor de cabeza engomado

El tambor de cabeza se sitúa al final de la cinta transportadora, a continuación de la última estación superior de rodillos. Su función principal es mantener la banda transportadora en movimiento, función que realiza mientras la desvía hacia el camino inferior de rodillos.

Para poder transmitir el movimiento hasta la banda transportadora, el eje del tambor de cabeza está unido directamente con el eje de salida de la caja reductora. Además, dado que para mover la banda transportadora el tambor debe tirar de ella y que la fuerza se transmite por fricción, para evitar que ambos deslicen entre sí, el tambor de cabeza dispone de un recubrimiento de goma con rayado rómbico.

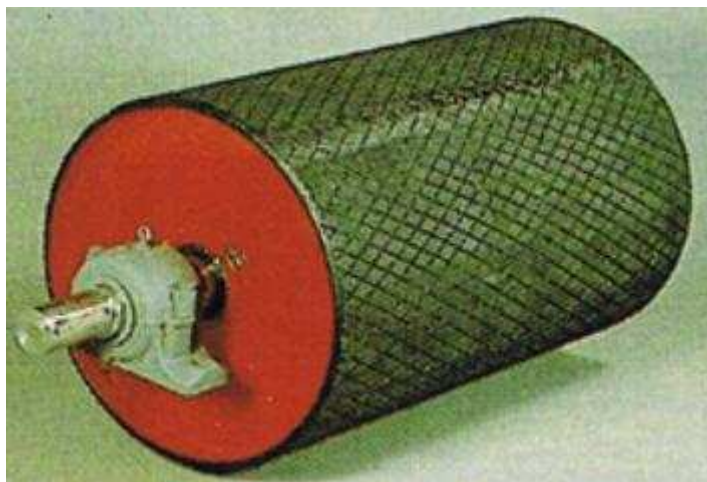


Fig. 5.11.- Tambor de cabeza engomado.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

○ Tambor de cola

El tambor de cola se sitúa al inicio de la cinta transportadora, precediendo a la zona de vertido de los rsu desde los encauzadores hasta la banda transportadora. El tambor de cola se encarga de desviar la banda transportadora desde el camino inferior de rodillos al superior, para volver a repetir el ciclo de transporte de rsu.



Fig. 5.12.- Tambor de cola.

A diferencia del tambor de cabeza, este tambor no es accionado ni debe de transmitir fuerza ninguna a la banda transportadora, es por esto por lo que no necesita recubrimiento de goma.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

∞ Sistema de limpieza de la banda transportadora

○ Rascador recto de cabeza

El rascador recto de cabeza se encarga de retirar los restos adheridos a la superficie de la banda transportadora que entra en contacto con la materia transportada para evitar su inclusión en partes delicadas de la cinta transportadora.

Se sitúa en el tambor de cabeza, debajo de la trayectoria de los residuos, de forma que favorezca la recogida del material limpiado y permita un fácil mantenimiento y ajuste. Para cumplir con su función no necesita ejercer una gran presión sobre el tambor.

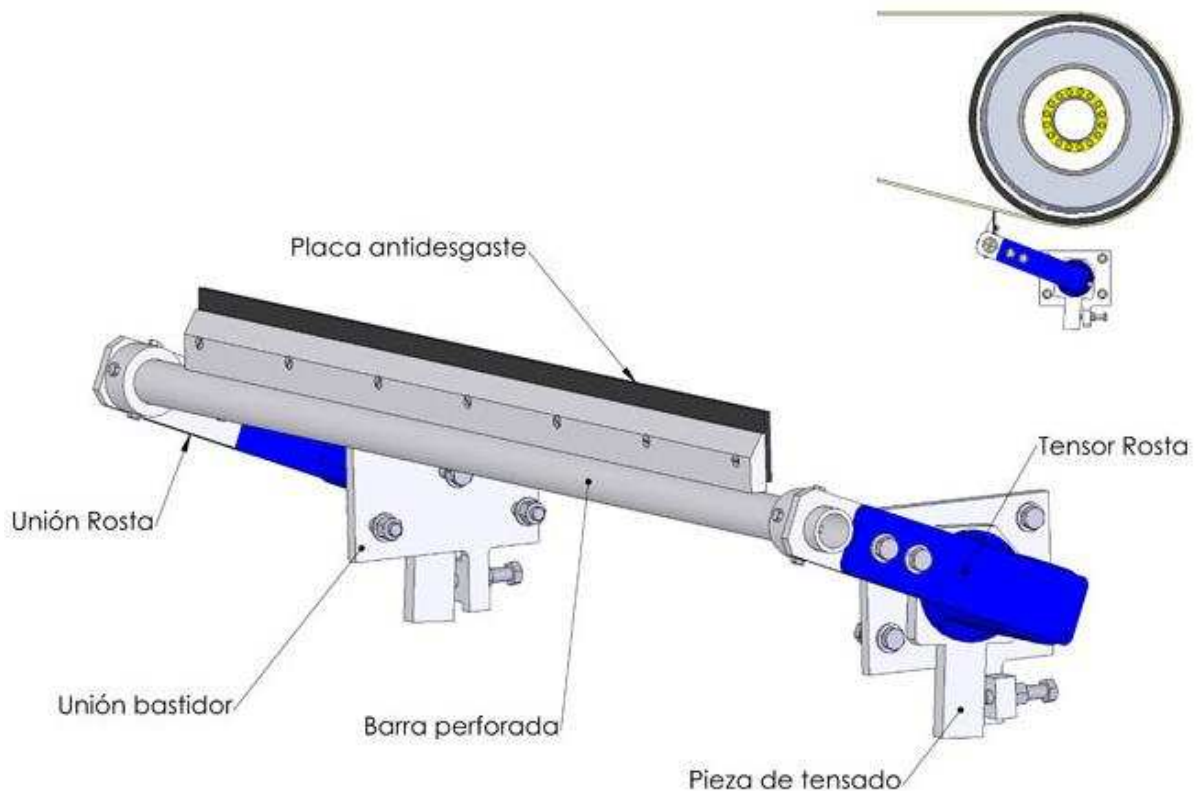


Fig. 5.13.- Rascador recto de cabeza.

○ Estación de retorno con rodillo limpiador helicoidal

La estación de retorno con rodillo limpiador helicoidal tiene las mismas características que las estaciones de retorno con rodillo recto, con la diferencia de que además de soportar el peso de la banda, también limpia la superficie por su cara expuesta a los residuos transportados.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

Para limpiar la superficie de la banda transportadora utiliza un rodillo con un engomado de relieve helicoidal y cuyo helicoide converge en el centro del rodillo.



Fig. 5.14.- Rodillo limpiador helicoidal.

○ Rascador en “V”

El rascador en “V” se encarga de retirar los restos de materia adheridos a la superficie de la banda transportadora que permanece en contacto con los rodillos de la cinta, con el fin de evitar daños en los recubrimientos de goma de los rodillos o incluso en la goma de la misma banda transportadora.

Se sitúa próximo al tambor de cola, debajo de la trayectoria de los residuos, de forma que actúe sobre la superficie que va entrando en contacto con el tambor de cola.



Fig. 5.15.- Rascador en “V”.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

∞ Sistema de descarga de los rsu

○ **Bandeja de salida**

Los rsu transportados necesitan ser introducidos al interior del trómel para continuar en la cadena de tratamiento de la planta industrial. Dado que la cinta transportadora no puede introducirse parcialmente dentro del trómel, se dispone de una bandeja adaptada a la cinta transportadora, regulable en inclinación y altura que introduce toda la materia transportada por la cinta transportadora hasta el interior del trómel por gravedad.

∞ Sistema motriz y de accionamiento

○ **Motor eléctrico**

El motor eléctrico se alimenta con corriente alterna trifásica, proporcionando una potencia de 22 kW a la cinta transportadora.

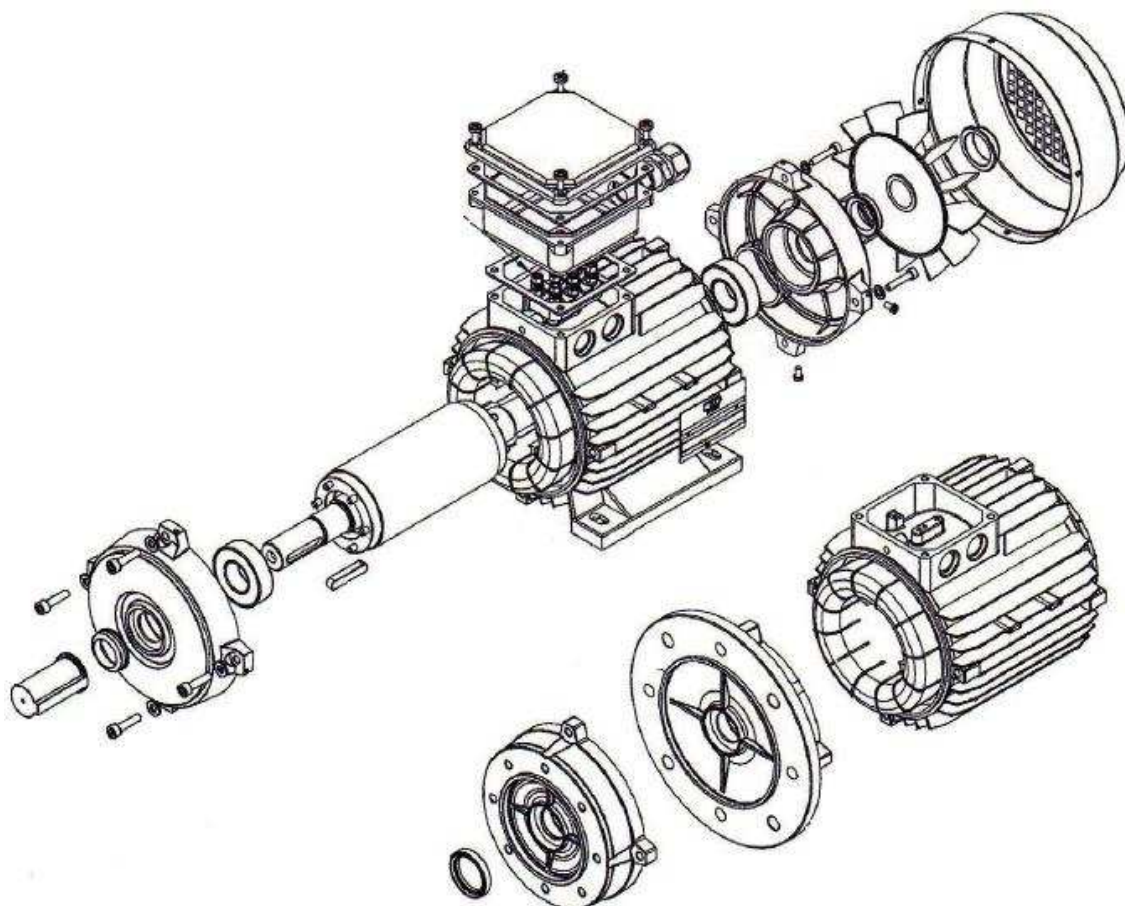


Fig. 5.16.- Despiece de motor eléctrico.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

○ Acoplamiento de alta velocidad

Dada la colocación del motor eléctrico respecto de la caja reductora, se hace necesario un acoplamiento de alta velocidad para transmitir el movimiento hasta la caja reductora.

El acoplamiento de alta velocidad está compuesto por dos poleas de transmisión de potencia y cuatro correas de transmisión de potencia trapezoidales que las conectan. Una de las poleas, la de menor diámetro está conectada al eje de salida del motor eléctrico y la de mayor diámetro o polea conducida se conecta al eje de entrada de la caja reductora. De esta manera se consigue un mecanismo reductor de la velocidad previo a la caja reductora de la cinta transportadora.



Fig. 5.17.- Acoplamiento de alta velocidad entre motor eléctrico y caja reductora.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

○ Reductora

La caja reductora se encarga de adaptar la velocidad del movimiento transmitido desde el motor eléctrico en función de las necesidades del proceso de tratamiento de los rsu.



Fig. 5.18.- Caja reductora.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

∞ Sistema de protección eléctrica

○ **Interruptor magnetotérmico**

El interruptor magnetotérmico es un dispositivo cuya función es proteger al motor de daños producidos por valores anormales de intensidad ya sean producidos por fallos del motor eléctrico o por problemas del suministro eléctrico al motor.

El interruptor magnetotérmico se activa al producirse subidas de intensidad, en función del valor del incremento de la intensidad y del tiempo que se mantiene dicho valor de la subida. De esta forma se protege el motor eléctrico tanto de pequeñas sobrecargas constantes en el tiempo como de fuertes picos instantáneos de intensidad.

○ **Interruptor diferencial**

El interruptor diferencial es un dispositivo que se encarga de proteger a las personas de derivaciones eléctricas causadas por faltas de aislamiento entre conductores activos y tierra.

El interruptor diferencial se activa al detectar que parte de la intensidad que se le proporciona al motor eléctrico circula hacia tierra por otra vía distinta a la establecida. Mediante este sistema se evitan descargas eléctricas a las personas.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

∞ Sistema de parada de emergencia

○ Interruptor de parada de emergencia

El interruptor de paro de emergencia corta el suministro eléctrico de la cinta transportadora al ser accionado, teniendo como finalidad evitar o limitar las consecuencias de accidentes que puedan afectar a personas, bienes o incluso al medio ambiente.



Fig. 5.19.- Interruptor de parada de emergencia.

Este dispositivo puede ser accionado a partir del accionamiento del botón de seta del que dispone o desde la distancia, accionándolo mediante la actuación de un cable tensado que se encuentra por todo el perímetro de la cinta transportadora.

CONTEXTO OPERACIONAL

Sistemas específicos de la cinta transportadora

- **Dispositivos de accionamiento del interruptor de parada de emergencia**

Para accionar el interruptor de paro de emergencia, es suficiente pulsar el botón de seta del mismo. Pero para poder ser accionado desde cualquier punto del perímetro de la cinta transportadora se utilizan cuerdas conectadas con estos dispositivos y debidamente tensadas. Estas cuerdas rodean toda la cinta transportadora, instaladas con tensores de cuerda, sujetadores de cable y poleas de esquinas interiores y exteriores.



Fig. 5.20.- Elementos del sistema de accionamiento del interruptor de parada de emergencia.

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO Y EFECTOS DEL SISTEMA (AMFE)

Hoja de información RCM

6. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO Y EFECTOS DEL SISTEMA (AMFE)

6.1 HOJA DE INFORMACIÓN RCM

Para la exhaustiva realización de este trabajo se debe contar con personal que conozca profundamente el activo. Es en este punto del proceso de mantenimiento RCM en el que se definen las distintas funciones del sistema y sus correspondientes fallos funcionales, donde los técnicos encargados del mantenimiento del sistema estudiado y los operarios de las instalaciones desempeñan su rol más preponderante, ya que son ellos quienes conocen, producto de su experiencia, las partes del sistema sensibles a fallos, cuales son los fallos típicos, en que contexto se encuentra cada fallo en particular, que tareas son las que normalmente se desarrollan y de que manera se hacen y en general comprenden con mayor profundidad los casos de fallo y sus causas. Es así como dentro del grupo RCM la presencia de personal técnico fortalece en gran manera el desarrollo de un AMFE adecuado.

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODOS DE FALLO	EFEECTO DEL FALLO
5 Detener la cinta transportadora desde cualquier punto alrededor de la misma al accionar cualquiera de los pulsadores o el cable de emergencia y permitir la puesta en marcha una vez eliminada la causa de accionamiento.	A No es capaz de detener la cinta transportadora al accionar cualquiera de los pulsadores seta o el cable de emergencia.	1 El cable queda atrapado en una polea de esquina.	No abre el interruptor de parada de emergencia ni detiene la cinta. Puede lesionar a alguien por atrapamiento.
		2 Rotura o defecto del interruptor de parada de emergencia.	No corta el suministro eléctrico de la cinta transportadora al ser accionado, por lo que no detiene la cinta. Puede lesionar a alguien por atrapamiento.
	B No es capaz de detener la cinta transportadora porque no hay ningún dispositivo de emergencia próximo.	1 Los sistemas de accionamiento del dispositivo de parada de emergencia no cubren todo el perímetro de la cinta transportadora.	Impide accionar el dispositivo de emergencia desde uno o más puntos del perímetro de la cinta transportadora. En caso de emergencia, la cinta seguirá funcionando con el riesgo de producir o agravar tanto lesiones en personas como daños materiales.

Fig. 6.1.- Ejemplo de hoja de información RCM.

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO Y EFECTOS DEL SISTEMA (AMFE)

Hoja de información RCM

Una vez definidas funciones y fallos funcionales el proceso se concentra en buscar cuales son los hechos que de manera razonable puedan haber causado cada estado de fallo, éstos son los modos de fallo. Para cada fallo funcional descrito pueden resultar múltiples modos de fallo.

Seguidamente a los modos de fallo, se construyen los efectos del fallo, los cuales describen lo que ocurre con cada modo de fallo, el desarrollo de éstos debe permitir decidir si el fallo es evidente para los operarios y si afecta a la seguridad o al medio ambiente. Los efectos de fallo no deben describir de manera literal el efecto en si, como “este fallo afecta la seguridad” o “este fallo es evidente”, más bien la redacción debe permitir intuir este tipo de condición. Nuevamente aquí el personal técnico es quien posee la mayor cantidad y calidad de información, ellos pueden describir en detalle o por lo menos expresar cada evidencia manifiesta ante la presencia de un modo de fallo. Es posible que para algunos modos de fallo, los efectos de fallo se vuelvan muy extensos debido a las múltiples situaciones que se presentan, por esto se debe tener especial cuidado en la redacción o considerar la creación de más modos de fallo.

Cada modo de fallo debe pasar por el diagrama lógico de decisión RCM con el fin de llegar a una política de mantenimiento que permita controlarlo. Debido a esto se debe asegurar que no se omite ningún modo de fallo que haya ocurrido en el pasado o que tenga posibilidad cierta de ocurrir.

Es muy importante realizar este documento de forma exhaustiva debido a que servirá de base para aplicar la metodología RCM y en función del AMFE del sistema realizado obtendremos diferencias importantes en el plan de mantenimiento resultante.

PLAN DE MANTENIMIENTO

Hoja de decisión RCM

7. PLAN DE MANTENIMIENTO

7.1 HOJA DE DECISIÓN RCM

Una vez recopilada la información en la hoja de información RCM se procede a realizar la hoja de decisión RCM, mediante el diagrama de decisión RCM, respondiendo a las preguntas que plantea.

Este diagrama está basado en una evaluación de las consecuencias de los fallos y las tareas propuestas para evitar o disminuir dichas consecuencias.

La hoja de decisión se divide en columnas. Las columnas tituladas F (Función), FF (Fallo Funcional) y MF (Modo de Fallo), identifican el modo de fallo que se analiza en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias entre la hoja de información RCM y la hoja de decisión RCM.

Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones por defecto			Tipo de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Tareas propuestas	Frec. (sem ⁻³)	Hecho por	Horas de trabajo	Horas de trabajo por año	Actividad resultante utilizando el árbol lógico de decisión del RCM																	
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	S1	S2	S3								O1	O2	O3	N1	N2	N3	H4	H5	S4								
5	A	1	N					S																						Predictivo.	Inspección visual de la instalación del cable, comprobando que no se encuentra bloqueado.	M	Operario de mantenimiento mecánico.	0,5	6	Tarea a condición.
	B	1	S	S																N	Correctivo.	Rediseño de la instalación de accionamientos de los dispositivos de corte eléctrico de emergencia.	-	Departamento de ingeniería.	-	-	Rediseño obligatorio.									

Fig. 7.1.- Ejemplo de hoja de decisión RCM.

Las columnas tituladas H, S, E, O, N, H1/S1/O1/N1, H2/S2/O2/N2, H3/S3/O3/N3, H4, H5, S4 son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de fallo.

PLAN DE MANTENIMIENTO

Hoja de decisión RCM

Las últimas columnas registran la tarea que ha sido seleccionada, si la hay, la frecuencia con la que debe hacerse y quien ha sido seleccionado para realizarla.

Además, para aportar más información, se añaden otras columnas para registrar también el tipo de mantenimiento seleccionado, la actividad obtenida a realizar según el diagrama de decisiones RCM, el número de horas que ocupa realizar la tarea de mantenimiento en caso de que haya y el número de horas que ocuparía dicho mantenimiento a lo largo del período de un año.

Una vez tenemos realizada la hoja de decisión ya podemos pasar a realizar la hoja de distribución de tareas utilizando los resultados obtenidos en la hoja de decisión RCM.

PLAN DE MANTENIMIENTO

Hoja de distribución de tareas

7.2 HOJA DE DISTRIBUCIÓN DE TAREAS

Una vez realizada la hoja de decisiones RCM y estudiados todos los distintos modos de fallo podemos planificar las tareas de mantenimiento que han de ser realizadas periódicamente. Las tareas que ocupan este mantenimiento cíclico son de tipo predictivo, preventivo y detectivo.

La frecuencia de las tareas se dividen en:

+ (M)	Mensual.	+ (SM)	Semestral.
+ (2M)	Bimensual.	+ (A)	Anual.
+ (TR)	Trimestral.	+ (2A)	Bianual.

Para detallar la periodicidad de las tareas de mantenimiento se utiliza la hoja de distribución de tareas.

Información de referencia.			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico del RCM.	Acción de mantenimiento a ejecutar.	Frecuencia de actuación.					
F	FF	MF			Mensual.	Bimensual.	Trimestral.	Semestral.	Anual.	Bianual.
5	A	2	Tarea de búsqueda de fallos.	Accionar todos los interruptores de parada de emergencia individualmente comprobando el correcto funcionamiento de cada uno de ellos.						
5	C	1	Tarea de búsqueda de fallos.	Accionar todos los interruptores de parada de emergencia individualmente comprobando el correcto funcionamiento de cada uno de ellos.						

Fig. 7.2.- Ejemplo de hoja de distribución de tareas.

En la hoja de distribución de tareas contamos con las columnas F, FF y MF para identificar el modo de fallo al que corresponde la tarea de mantenimiento. Se define además el tipo de tarea que se debe realizar y la tarea a realizar.

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- **Justificación de las decisiones adoptadas durante la ejecución del plan de mantenimiento**

- **Tambor de cabeza recauchutado**

Tambor de cabeza recauchutado: 3000÷4000 €

Coste por pérdida de producción:

- + Tiempo: 4 - 7 días
- + Coste de parada producción:
 - 4 días: 30000 € + 54000 € = 84000 €

Incluso para el caso menos desfavorable, el coste de la parada de producción es mucho mayor que el coste de un tambor de cabeza recauchutado y su sustitución en caso de necesidad. Se dispondrá por tanto, de un tambor de cabeza recauchutado de servicio en almacén.

- **Caja reductora**

Caja reductora: 3000÷4000 €

Coste por pérdida de producción:

- + Tiempo: 2 - 5 días
- + Coste de parada producción:
 - 2 días: 2 días x 15000 €/día = 30000 €
 - 3 días: 30000 € + 27000 € = 57000 €

Incluso para el caso menos desfavorable, el coste de la parada de producción es mucho mayor que el coste de una caja reductora de velocidad y su sustitución en caso de necesidad. Se dispondrá por tanto, de una caja reductora de servicio en almacén.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- **Rediseño del acople entre la caja reductora y el acoplamiento de alta velocidad incluyendo limitador de par mecánico**

Coste del rediseño y su correspondiente modificación: 1000÷1500 €

Coste de reparación de engranajes dañados: 750÷1500 €

El rediseño se justifica ya que reduce considerablemente el gasto por reparación de los engranajes y evita la parada de la producción como consecuencia de la rotura de un engranaje por sobrecarga cada vez que se produzca. Con esta modificación se reduce drásticamente la sucesión de este modo de fallo.

- **Rediseño de los engranajes de la caja reductora**

Coste del rediseño y su correspondiente modificación: 2000÷2500 €

Coste de reparación de engranajes dañados: 750÷1500 €

El rediseño se justifica ya que reduce considerablemente el gasto por reparación de los engranajes y evita la parada de la producción como consecuencia de la rotura de un engranaje por fatiga cada vez que se produzca. Con esta modificación se reduce drásticamente la sucesión de este modo de fallo.

- **Rediseño del acople de alta velocidad para adecuar la velocidad de la banda transportadora y evitar la parada del motor por sobrecarga**

Coste del rediseño y su correspondiente modificación: 400÷1000 €

El rediseño se justifica ya que a pesar de la inversión necesaria, se reduce el coste por inoperatividad de la cinta transportadora considerablemente debido a la reducción o eliminación de la sobrecarga del motor eléctrico. De esta manera, además, se reduce el riesgo de aparecer otros modos de fallo evitando de esta manera otras consecuencias negativas en la producción y en los costes de mantenimiento.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- **Valoración de la instalación de generadores eléctricos para toda la planta industrial**

Coste de la instalación de generadores eléctricos: >70000 €

Se desestima la instalación de generadores eléctricos para abastecer la planta industrial en aquellos casos en los que falle el suministro eléctrico debido al excesivo coste que supondría cubrir con generadores la elevada potencia demandada y a la poca probabilidad de fallar el suministro eléctrico. Estos factores presentan dicha inversión como no favorable.

- **Valoración de la sustitución de los rodillos guía en lugar de llevar a cabo un mantenimiento predictivo**

Rodillo guía: $10\div15$ €

Se rechaza un mantenimiento predictivo de estos rodillos dado el bajo coste de estos dispositivos y su baja frecuencia de rotura o dañado. En caso de realizar dicho mantenimiento predictivo, el tiempo dedicado a tal fin supondría un coste mayor.

- **Arrancador del motor eléctrico**

Arrancador del motor eléctrico: $250\div300$ €

Coste por pérdida de producción:

- + Tiempo: 1 - 2 días
- + Coste de parada producción:
 - 1 día: $1 \text{ día} \times 15000 \text{ €/día} = 15000 \text{ €}$
 - 2 días: $2 \text{ días} \times 15000 \text{ €/día} = 30000 \text{ €}$

Incluso para el caso menos desfavorable, el coste de la parada de producción es mucho mayor que el coste de un arrancador del motor eléctrico y su sustitución en caso de necesidad. Se dispondrá por tanto, de un arrancador del motor eléctrico de servicio en almacén.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

○ Motor eléctrico

Motor eléctrico: 1200÷2000 €

Coste por pérdida de producción:

- + Tiempo: 1 - 3 días
- + Coste de parada producción:
 - 1 día: 1 día x 15000 €/día = 15000 €
 - 3 días: 30000 € + 27000 € = 57000 €

Incluso para el caso menos desfavorable, el coste de la parada de producción es mucho mayor que el coste de un nuevo motor eléctrico y su sustitución en caso de necesidad. Se dispondrá por tanto, de un motor eléctrico de servicio en almacén.

• Estadísticas resultantes del plan de mantenimiento elaborado

Una vez realizado el plan de mantenimiento obtenemos que las tareas de mantenimiento a realizar se distribuyen en mantenimiento detectivo (3.5%), mantenimiento preventivo (22.4%), mantenimiento predictivo (31.0%) y mantenimiento correctivo (43.1%).

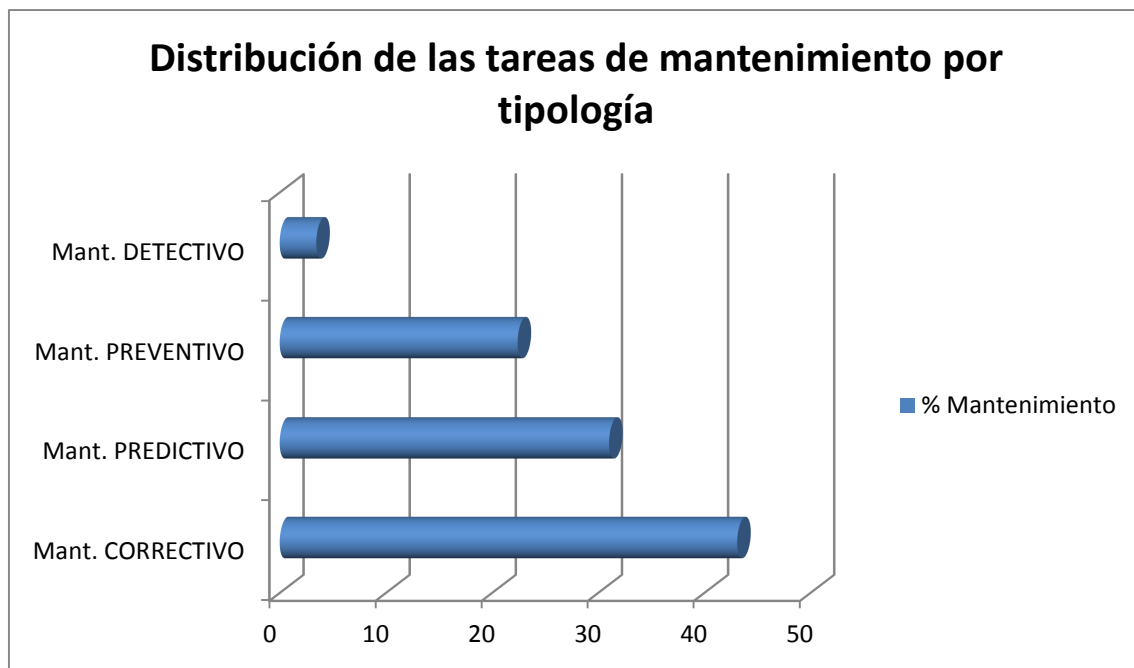


Fig. 8.1.- Gráfica de distribución de tareas de mantenimiento por tipología.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el plan de mantenimiento realizado se han obtenidos valores especialmente bajos en tareas de mantenimiento detectivo y valores especialmente elevados en tareas de mantenimiento preventivo en relación a los valores habituales que se obtienen en este tipo de análisis de sistemas.

Esto podemos atribuirlo a la baja cantidad de modos de fallo ocultos que se dan lugar en nuestro sistema, a su vez, encontramos una gran cantidad de modos de fallo que siendo evidentes a los operarios entrañan importantes consecuencias que afectan gravemente a la producción y cuya prevención resulta altamente rentable.

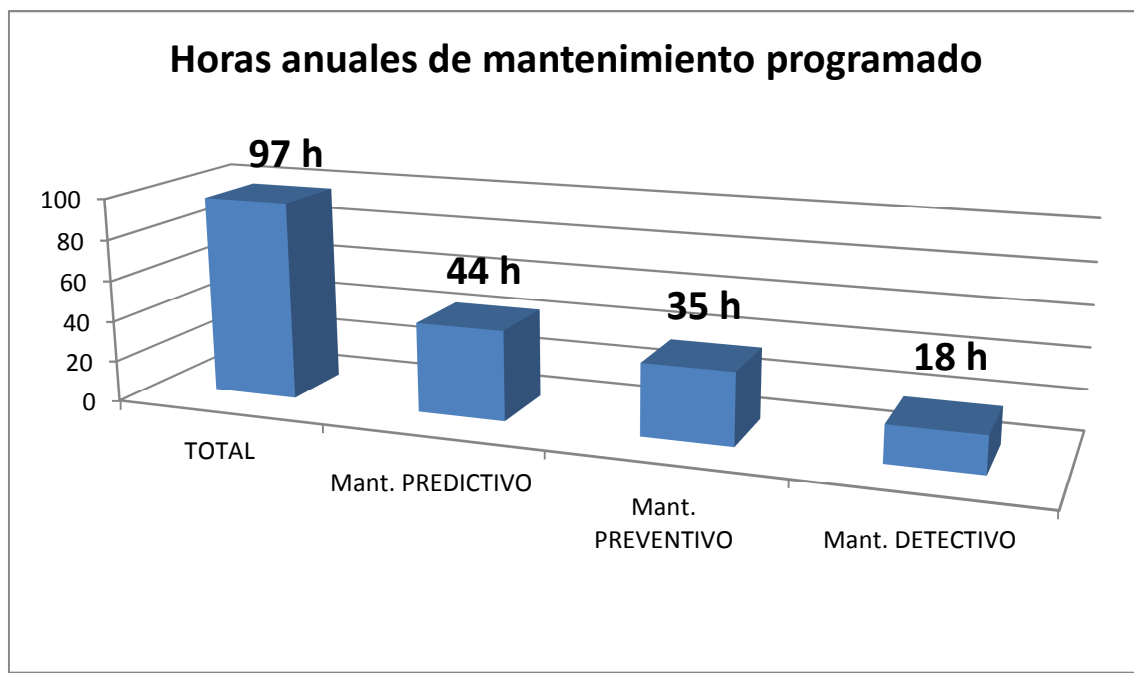


Fig. 8.2.- Gráfica de horas anuales de mantenimiento programado.

Anualmente, como resultado de la ejecución del mantenimiento programado anual, se utilizarán 97 horas de trabajo del equipo de mantenimiento de la planta industrial. 44 horas (45.4%) serán empleadas para mantenimiento predictivo, 35 horas (36.0%) para mantenimiento preventivo y 18 horas (18.6%) para mantenimiento detectivo.

Respecto a la periodicidad de las tareas, obtenemos que una elevada cantidad de tareas (44%) son necesarias mensualmente y a medida que los períodos entre tareas son mayores vemos como la tendencia es disminuir la cantidad de tareas de mantenimiento a realizar, hasta el caso de mantenimiento cada 2 años en el que obtenemos un valor de un 4%.

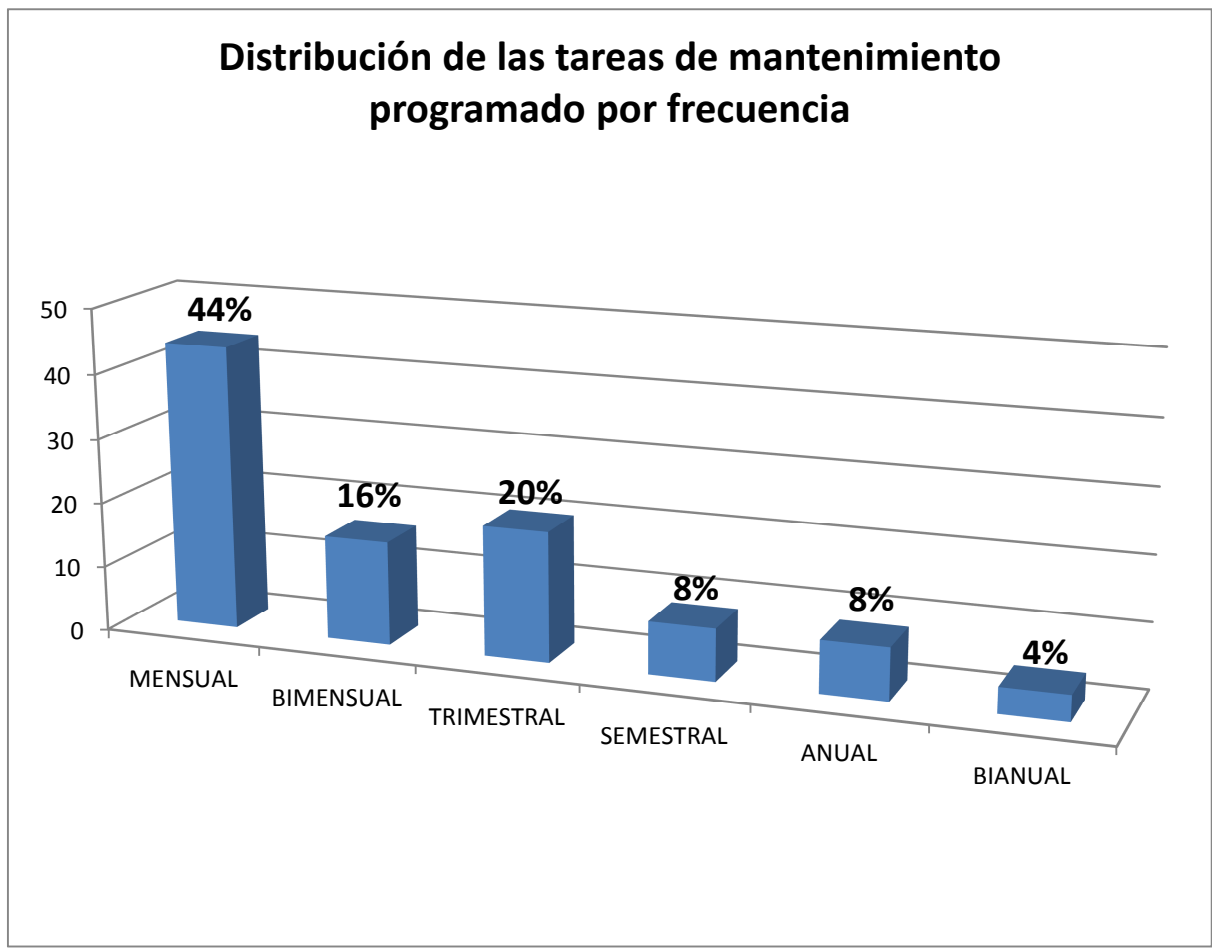


Fig. 8.3.- Gráfica de distribución de las tareas de mantenimiento programado por frecuencia.

- **Resultados de la implantación del mantenimiento por RCM2**

Ventajas directas del mantenimiento por RCM2:

- + Aumento de la disponibilidad.
- + Disminución de costes de mantenimiento evitando o quitando acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarias.
- + Facilita el entendimiento del plan de mantenimiento para todos los empleados vinculados.
- + Utiliza un lenguaje técnico común, sencillo y fácil de entender.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Ventajas indirectas del mantenimiento por RCM2:

- + Aumento de la producción como consecuencia de la mayor disponibilidad de la planta.
- + Reducción de costes de mantenimiento.
- + Mayor entendimiento de los procesos por parte del personal.
- + Mayor conciencia de la criticidad de los procesos y conciencia de costos.
- + Mentalización al mejoramiento continuo aprendido como algo entendible y practicable.
- + Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas.
- + Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- + Establece una manera de operar determinada para cada modo de fallo.

9. DISCUSIÓN DE CONCLUSIONES

- **Justificación de la planificación del mantenimiento de la cinta transportadora**

La funcionalidad de la cinta transportadora es un objetivo de gran importancia dentro de la planta industrial de tratamiento de rsu ya que este sistema supone la única vía de entrada de todos los residuos a la línea de tratamiento.

La finalidad primaria de la implantación de un plan de mantenimiento para la cinta transportadora es obtener una reducción del tiempo de inactividad de la cinta transportadora y por consecuencia, de toda la planta industrial. De esta forma se obtendría una reducción de costos de operatividad de la planta y la reducción del riesgo de tener una parada del proceso, máxime si se trata de una parada del proceso mayor a 3 días (capacidad de almacenaje de la playa de descarga) debido a los elevados costos por inoperatividad:

*Coste diario por parada planta industrial: K15000 €

*Multa diaria por vertido de rsu sin ser tratados: K12000 €

*Coste diario por parada planta industrial (A partir 3^{er} día): K27000 €

Como objetivos secundarios se espera obtener el incremento de la seguridad de los trabajadores y la reducción de costes de mantenimiento.

- **Organización en la implantación del plan**

En la práctica, el personal de mantenimiento no puede contestar a todas las preguntas por sí mismos. Ya que muchas (si no la mayoría) de las contestaciones sólo pueden proporcionarlas el personal operativo o el de producción. Lo cual se aplica especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de los fallos y las consecuencias de los mismos.

Por esta razón, durante el período de implantación, el mantenimiento de cualquier equipo debe hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan por lo menos una persona de la función del mantenimiento y otra de la función de producción. De esta manera, mediante la cooperación de los distintos equipos de personal involucrados en el mantenimiento de la instalación, se consigue que se comprenda mejor tanto la importancia de las distintas acciones de mantenimiento, como el funcionamiento de la instalación.

DISCUSIÓN DE CONCLUSIONES

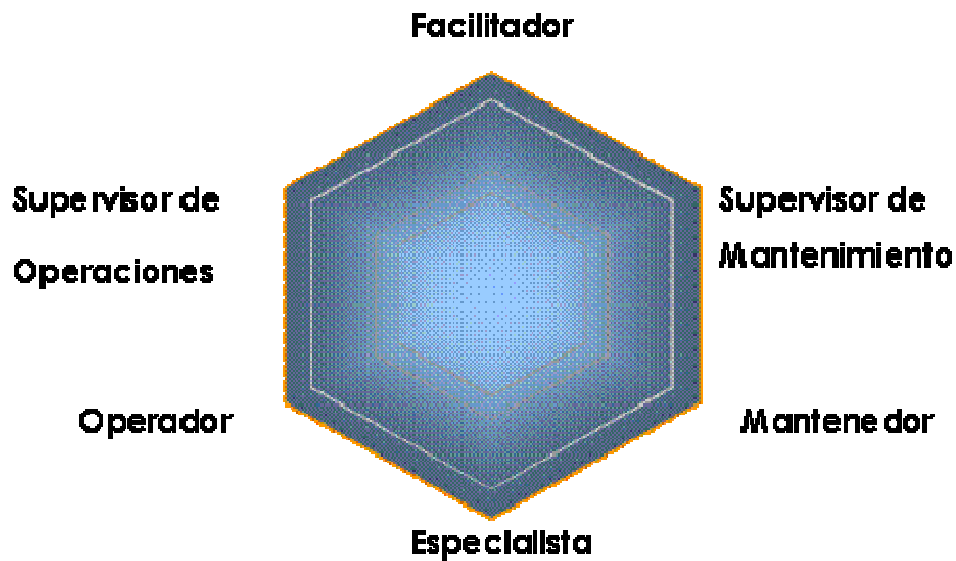


Fig. 9.1.- Esquema de personal implicado en la aplicación del RCM.

Los grupos de revisión del RCM trabajan bajo el asesoramiento de un especialista bien entrenado en RCM que se conoce como facilitador.

El plan de mantenimiento por RCM se desarrolla en conjunto por todo el personal relacionado de cualquier modo con la instalación.

- **Conclusiones**

- + El proceso RCM provee un marco estratégico de trabajo completo para manejar los fallos. Este marco:

- Clasifica todos los fallos basándose en sus consecuencias. Al hacerlo así, separa los fallos ocultos de los fallos evidentes y luego ordena las consecuencias de los fallos evidentes en un orden de importancia decreciente.
- Provee una base para decidir caso por caso, si merece la pena mantenimiento proactivo.
- Sugiere que acción debe tomarse si no puede encontrarse una tarea proactiva adecuada.

- + La gente que participa de este proceso aprende y logra comprender en profundidad el funcionamiento del activo y de que manera falla. Esto hace que los participantes cambien su forma de hacer las cosas, con lo que se pueden obtener mejoras sensibles en el rendimiento del activo.

DISCUSIÓN DE CONCLUSIONES

- + El trabajo realizado es simplemente los inicios de lo que podría ser un gran análisis RCM de toda la planta industrial. El proyecto entregado puede ser obviamente sometido a múltiples cambios dada la alta probabilidad de que cambie la forma del sistema y la gran variedad de elementos que existen dentro del mismo sistema que tal vez no fueron considerados en el presente análisis.
- + El flujo de información que tiene lugar en las reuniones RCM durante su aplicación y desarrollo, no solamente se refleja en la base de datos. Cuando cualquier miembro del grupo efectúa una contribución, inmediatamente los otros aprenden más sobre el activo, más del proceso del que forma parte y más sobre lo que debe hacerse para mantenerlo en funcionamiento. Como resultado, en lugar de tener cinco o seis personas que saben cada uno un poco del activo tratado, la empresa gana cinco o seis expertos en el tema.
- + Las hojas de información y las tablas RCM obtenidas para el sistema son el primer intento de crear un plan de mantenimiento RCM en esta planta industrial, por tal razón es de esperarse que en caso de implementarse de forma real las actividades obtenidas, el desarrollo sufra modificaciones producto de la adaptación que se realice, esto es lo que se conoce como evaluación y seguimiento del análisis RCM, proceso que debe hacerse posterior a cualquier análisis RCM, y que sale del alcance dado para este trabajo debido a que el objetivo era llegar hasta un desarrollo teórico.
- + Para la elaboración del proyecto se escogió como objeto del análisis una cinta transportadora porque es un sistema conocido y no muy complejo que permite ilustrar bien la forma de aplicación y los resultados que puede proporcionar el RCM.
- + Por último, decir que aunque el RCM se desarrollo originalmente para programar el mantenimiento de aviones antes de que estos entraran en servicio, con el paso del tiempo, y como se ha visto en este proyecto, se ha convertido en un método que se puede aplicar satisfactoriamente a cualquier sistema, ya sea de nueva instalación o existente y con el que se conseguirán resultados rápidos, eficaces y fiables.

AGRADECIMIENTOS

10. AGRADECIMIENTOS

Quisiera mostrar mi especial y enorme agradecimiento a **D. Víctor Lissen Ortega**.

De ninguna otra manera que gracias a su orientación, sugerencia y estímulo, que me ha aportado en todo momento con gran atención, paciencia y generosidad, hubiera sido posible la realización de este trabajo.

Quisiera agradecer también todo el apoyo incondicional que he recibido en todo momento por parte de mi **familia** y el estímulo constante que me han aportado siempre mis grandes **amig@s**.

A todos, **MUCHAS GRACIAS**.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MOUBRAY, John. Reliability Centred Maintenance. United Kingdom, 2000.
- [2] SMITH, Anthony. Reliability Centred Maintenance. New York: McGraw – HILL, 1993.
- [3] PIRELLI, William. Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores. Editorial Mac Graw Hill- Impreso en Madrid (España) 1992.
- [4] ROTRANSSA S.A. Catálogo de rodillos.
- [5] ROTRANSSA S.A. Catálogo de tambores.
- [6] ROTRANSSA S.A. Catálogo de estaciones.
- [7] Revista CONSTRUIR, 27 de Septiembre, 2009. Protecciones de motores eléctricos.
- [8] SCHNEIDER ELECTRIC. Manual de protección de motores eléctricos.

ANEXO 1

HOJA DE INFORMACIÓN RCM

ANEXO 2

HOJA DE DECISIONES RCM

ANEXO 3
HOJA DE DISTRIBUCIÓN DE
TAREAS