



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO PARA EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO EN EL  
PROCESO DE PRODUCCIÓN MINERA EN SECO**

**Luis Eduardo Chapas Castillo**

Asesorado por el Ingeniero Otto Adolfo Dubón Rodríguez

Guatemala, noviembre de 2007







**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA**

|            |                                      |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos      |
| VOCAL I    | Inga. Glenda Patricia García Soria   |
| VOCAL II   | Inga. Alba Maritza Guerrero de López |
| VOCAL III  | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón    |
| VOCAL IV   | Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz       |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas     |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|             |  |
|-------------|--|
| DECANO      | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos            |
| EXAMINADOR  | Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez       |
| EXAMINADOR  | Inga. Rossana Margarita Castillo Rodríguez |
| EXAMINADORA | Ing. José Luis Valdeavellano Dardón        |
| SECRETARIA  | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas           |



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN MINERA EN SECO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 05 de marzo de 2007.

---

Luis Eduardo Chapas Castillo





Guatemala, 29 de septiembre del 2007

Ingeniero  
José Francisco Gómez Rivera  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Cumpliendo con los requerimientos de la Dirección de la escuela, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación titulado, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN MINERA EN SECO, desarrollado por el estudiante universitario Luis Eduardo Chapas Castillo.

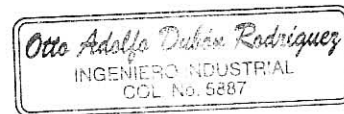
El trabajo presentado por el estudiante Chapas Castillo ha cumplido con los requisitos reglamentarios, consultando material bibliográfico adecuado y llevando investigación de campo; siguiendo las recomendaciones de la asesoría, y en tal virtud tanto el autor como el asesor son responsables por el contenido del mismo.

El trabajo de graduación antes expuesto lo he revisado, por lo que apruebo el contenido del mismo.

Atentamente,

F. 

Ing. Otto Adolfo Dubón Rodríguez  
Asesor





Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN MINERA EN SECO**, presentado por el estudiante universitario **Luis Eduardo Chapas Castillo**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
INGENIERO INDUSTRIAL  
Colección No. 597  
**Ing. Renaldo Girón Alvarado**  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, noviembre de 2007

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN MINERA EN SECO**, presentado por el estudiante universitario **Luis Eduardo Chapas Castillo**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
**DIRECTOR**  
Escuela Mecánica Industrial



Guatemala, noviembre de 2007.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN MINERA EN SECO**, presentado por el estudiante universitario **Luis Eduardo Chapas Castillo**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, stylized handwritten signature in black ink, consisting of a large loop and a long tail.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, noviembre de 2007.



/gdech

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios:** Por estar siempre a mi lado y darme la oportunidad y fortaleza necesaria para llegar a este gran momento.
- Mi padre:**  
**Lic. Luis Eduardo Chapas F.** Por todo el esfuerzo y sacrificio realizado durante toda su vida y por enseñarme que se debe luchar en la vida para alcanzar el éxito.
- Mi madre:**  
**Adela Castillo de Chapas** Por su cariño y dedicación recibida alrededor de toda mi vida y por enseñarme que todo en esta vida es posible si se hace con amor.
- Mis hermanos:**  
**José Luis Chapas Castillo y Pedro Luis Chapas Castillo** Por su valioso apoyo a lo largo de toda mi vida, y por compartir conmigo tanto en los buenos como en los malos momentos.
- Mi padrino:**  
**Nery Fernando Barrios R.** Por su apoyo incondicional y desinteresado y por enseñarme que el amor y la confianza en Dios son la base para tener una vida plena.
- Mi tía:**  
**Licda. Carmen Chapas** Por estar presente cuando la necesite.
- Mi asesor:**  
**Ing. Otto Adolfo Dubón R.** Por su valiosa amistad y por toda la colaboración brindada en este trabajo.
- Mis amigos en general:** Por su ayuda, cariño y estima hacia mi persona.
- Cementos Progreso:**  
**Ing. Oscar Efraín Calderón** Por darme la oportunidad de aprender y de conocer valiosos amigos: Jorge Palencia, Sergio Hernández, Renato Oliva, Estuardo Vargas, Miguel Guzmán, Adine Chacón, etc.



## ÍNDICE GENERAL

|                              |      |
|------------------------------|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | VII  |
| GLOSARIO.....                | IX   |
| RESUMEN.....                 | XIII |
| OBJETIVOS.....               | XV   |
| INTRODUCCIÓN.....            | XVII |

### 1. GENERALIDADES DE LOS COLECTORES DE POLVO

|  |    |
|--|----|
| 1.1 Principios de operación .....                        | 1  |
| 1.1.1 Funcionamiento .....                               | 1  |
| 1.1.2 Movimiento de gases .....                          | 2  |
| 1.1.3 Ciclo de limpieza .....                            | 2  |
| 1.1.4 <i>Timer</i> (Control de tiempo) .....             | 5  |
| 1.1.5 Manómetro de diferencial de presión .....          | 6  |
| 1.1.6 Interruptor de diferencial de presión .....        | 6  |
| 1.1.7 Válvula pulsante .....                             | 6  |
| 1.1.8 Cabezal de aire comprimido ( <i>Header</i> ) ..... | 7  |
| 1.1.9 Tubo de soplado .....                              | 8  |
| 1.2 Instalación .....                                    | 8  |
| 1.2.1 Consideraciones previas a la instalación .....     | 8  |
| 1.2.2 Suministro de aire comprimido .....                | 9  |
| 1.2.3 Instalación de las bolsas .....                    | 9  |
| 1.2.3.1 Acceso superior .....                            | 10 |
| 1.2.4 Instalación del tubo de soplado .....              | 12 |
| 1.2.5 Manómetro de diferencial de presión .....          | 12 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1.2.6   | Interruptor de diferencial de presión .....         | 13 |
| 1.2.7   | Sistema eléctrico .....                             | 14 |
| 1.2.8   | Suministro de energía .....                         | 14 |
| 1.2.9   | Equipos complementarios para climas fríos.....      | 14 |
| 1.2.10  | Lubricación inicial .....                           | 15 |
| 1.2.11  | Verificación previa a la operación .....            | 15 |
| 1.3     | Ajustes operacionales .....                         | 16 |
| 1.3.1   | Frecuencia de la limpieza .....                     | 16 |
| 1.4     | Instrucciones para la operación .....               | 16 |
| 1.4.1   | Inicio de la secuencia con bolsas nuevas .....      | 17 |
| 1.4.2   | Secuencia de arranque con bolsas curadas .....      | 18 |
| 1.4.3   | Secuencia para detener el funcionamiento .....      | 18 |
| 1.5     | Mantenimiento .....                                 | 19 |
| 1.5.1   | Drenaje del cabezal de aire ( <i>Header</i> ) ..... | 19 |
| 1.5.2   | Desgaste de las bolsas .....                        | 20 |
| 1.5.3   | Reparación de las bolsas .....                      | 21 |
| 1.5.4   | Retiro de las bolsas y su reemplazo .....           | 21 |
| 1.5.4.1 | Acceso superior .....                               | 21 |
| 1.5.4.2 | Acceso lateral .....                                | 21 |
| 1.5.5   | Manómetro de diferencial de presión .....           | 22 |
| 1.5.6   | Interruptor de diferencial de presión .....         | 22 |
| 1.5.7   | Válvulas pulsantes .....                            | 22 |
| 1.6     | Síntomas de dificultades .....                      | 23 |
| 1.6.1   | Pérdida de ventilación .....                        | 23 |
| 1.6.2   | Caída de presión excesiva .....                     | 23 |
| 1.6.3   | Válvula pulsante inoperante .....                   | 24 |
| 1.6.4   | Polvo en la descarga .....                          | 24 |
| 1.6.5   | Infiltración de humedad .....                       | 25 |
| 1.6.6   | Condiciones de alta temperatura .....               | 25 |



## **2. IMPACTO AMBIENTAL DEL USO DE SISTEMAS DE COLECTORES DE POLVO**

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 2.1     | Leyes internacionales para la reducción de la contaminación del aire .....           | 27 |
| 2.1.1   | Reglamentos en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica ..... | 27 |
| 2.1.2   | Normas oficiales mexicanas como referencia internacionalmente aceptada .....         | 28 |
| 2.2     | Gestión nacional ambiental para la reducción de la contaminación del aire .....      | 32 |
| 2.2.1   | Situación actual del sistema atmosférico .....                                       | 33 |
| 2.2.2   | Propuesta de un sistema de gestión ambiental .....                                   | 35 |
| 2.2.2.1 | Organización de la gestión ambiental .....   | 37 |
| 2.2.2.2 | Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) .....                                  | 41 |
| 2.2.2.3 | Principales retos de la gestión ambiental .....                                      | 42 |
| 2.3     | Función ambiental de los colectores de polvo .....                                   | 43 |

## **3. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO**

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.1     | Función del departamento de mantenimiento mecánico .....     | 45 |
| 3.1.1   | Visión y misión del departamento de mantenimiento mecánico.. | 45 |
| 3.1.2   | Estructura del departamento de mantenimiento mecánico .....  | 46 |
| 3.1.2.1 | Superintendente mecánico .....                               | 47 |
| 3.1.2.2 | Jefe del departamento .....                                  | 47 |
| 3.1.2.3 | Ingeniero planificador .....                                 | 47 |
| 3.1.2.4 | Supervisor del área .....                                    | 47 |
| 3.1.2.5 | Responsable de realizar el mantenimiento .....               | 48 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.2     | Tipos de mantenimiento .....  | 48 |
| 3.2.1   | Mantenimiento preventivo .....  | 48 |
| 3.2.1.1 | Mantenimiento predictivo .....  | 49 |
| 3.2.2   | Mantenimiento correctivo .....  | 50 |
| 3.3     | Actualidad del mantenimiento preventivo del sistema<br>de colectores de polvo ..... | 52 |
| 3.3.1   | Inspecciones en marcha .....  | 52 |
| 3.3.1.1 | Termografías .....  | 53 |
| 3.3.1.2 | Análisis de vibraciones.....  | 55 |
| 3.3.1.3 | Mediciones de temperatura .....   | 57 |
| 3.3.1.4 | Luz estroboscópica .....  | 59 |
| 3.3.1.5 | Muestra de aceite .....   | 60 |
| 3.3.2   | Elaboración de avisos y reportes de las inspecciones<br>en marcha .....             | 61 |
| 3.3.3   | Proceso de corrección de fallas .....   | 62 |
| 3.3.3.1 | Planificación de los avisos correctivos .....                                       | 62 |
| 3.3.3.2 | Elaboración de ordenes de trabajo .....   | 63 |
| 3.3.3.3 | Asignación de las ordenes de trabajo .....  | 63 |

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO PARA EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.1   | Elaboración del plan de mantenimiento preventivo para el<br>sistema de colectores de polvo ..... | 65 |
| 4.1.1 | Inventario físico de los equipos que componen el<br>sistema de colectores de polvo .....         | 68 |
| 4.1.2 | Comparación entre el inventario físico y el inventario<br>existente en SAP R / 3.....            | 69 |
| 4.1.3 | Determinación de las frecuencias de mantenimiento .....  | 70 |

|  |    |
|--|----|
| 4.1.4 Fijación de los tiempos de duración y número de personas<br>necesarias para cada actividad ..... | 72 |
|--|----|

## **5. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO**

|  |     |
|--|-----|
| 5.1 Documentación de los procedimientos de mantenimiento para los equipos mecánicos que componen el sistema de colectores de polvo ..... | 77  |
| 5.1.1 Procedimiento de mantenimiento preventivo para un de colector de polvo .....   | 79  |
| 5.1.2 Procedimiento de mantenimiento preventivo para un gusano .....   | 82  |
| 5.1.3 Procedimiento de mantenimiento preventivo para un ventilador .....   | 84  |
| 5.1.4 Procedimiento de mantenimiento preventivo para una compuerta de clapeta.....   | 86  |
| 5.2 Guía para la localización de fallas en un colector de polvo .....  | 88  |
| 5.3 Creación de una simulación para el plan de mantenimiento preventivo .....  | 94  |
| 5.3.1 Estrategia de mantenimiento .....  | 95  |
| 5.3.1.1 Definición de estrategia de mantenimiento .....  | 95  |
| 5.3.1.2 Selección de la estrategia de mantenimiento .....  | 96  |
| 5.3.2 Posición de mantenimiento .....  | 97  |
| 5.3.2.1 Definición de posición de mantenimiento .....  | 98  |
| 5.3.2.2 Elaboración de las posiciones de mantenimiento .....   | 98  |
| 5.3.3 Hoja de ruta .....   | 99  |
| 5.3.3.1 Definición de hoja de ruta .....   | 100 |
| 5.3.3.2 Creación de las hojas de ruta .....  | 100 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.3.4 Asignación de las posiciones de mantenimiento a la simulación del plan de mantenimiento preventivo..... | 101 |
|---|-----|

**6. SEGUIMIENTO Y MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO**

|   |     |
|---|-----|
| 6.1 Comparación entre las actividades señaladas por el plan de mantenimiento preventivo y las descritas en su respectiva simulación ..... | 103 |
| 6.2 Generación de las ordenes de trabajo .....  | 104 |
| 6.2.1 Objetivo de la orden de trabajo .....   | 107 |
| 6.2.2 Diagrama del proceso de ejecución de una orden de trabajo ..  | 107 |
| 6.3 Monitoreo de resultados .....   | 108 |
| 6.3.1 Seguimiento del cumplimiento de actividades .....   | 114 |
| 6.3.2 Ajuste de frecuencias de mantenimiento .....  | 115 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| <b>CONCLUSIONES .....</b> | <b>117</b> |
|---------------------------|------------|

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>RECOMENDACIONES .....</b> | <b>119</b> |
|------------------------------|------------|

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b> | <b>121</b> |
|---------------------------|------------|

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1  | Componentes de un colector de polvo .....  | 4  |
| 2  | Instalación de bolsas con broche .....   | 10 |
| 3  | Conjunto de bolsa y venturi .....  | 11 |
| 4  | Instalación de la bolsa, jaula y venturi .....   | 11 |
| 5  | Estructura del departamento de mantenimiento<br>mecánico .....   | 46 |
| 6  | Termografía aplicada al motor de un colector de polvo .....  | 54 |
| 7  | Forma correcta de medir la vibración en una<br>chumacera .....   | 56 |
| 8  | Falla ocasionada en los ejes de transmisión<br>de potencia entre un motor y un reductor .....                      | 57 |
| 9  | Mediciones de temperatura a través de un<br>termómetro digital .....   | 58 |
| 10 | Muestras de aceite de los reductores de los<br>colectores de polvo .....   | 61 |
| 11 | Plan de mantenimiento preventivo para el<br>sistema de colectores de polvo, elaborado<br>en Microsoft Excel .....  | 74 |
| 12 | Diagrama de Gantt integrado al plan de<br>mantenimiento preventivo para el sistema<br>de colectores de polvo ..... | 75 |

|    |  |     |
|----|--|-----|
| 13 | Diagrama de la simulación de un plan<br>de mantenimiento en SAP R / 3 .....  | 94  |
| 14 | Estrategias de mantenimiento de la planta .....  | 96  |
| 15 | Paquetes de mantenimiento de la estrategia ELINS 1 .....   | 97  |
| 16 | Creación de una posición de mantenimiento .....  | 99  |
| 17 | Creación de una hoja de ruta .....   | 100 |
| 18 | Posiciones de mantenimiento asignadas<br>a la simulación del plan de mantenimiento<br>del sistema de colectores de polvo ..... | 102 |
| 19 | Orden de trabajo utilizada en la planta .....  | 105 |
| 20 | Orden de trabajo cargada con materiales .....  | 106 |
| 21 | Flujo de información de las ordenes de trabajo .....   | 108 |
| 22 | Diagrama de Pareto de 1er. Grado .....   | 109 |
| 23 | Diagrama de Pareto de 2do. Grado .....   | 110 |
| 24 | Diagrama de Pareto de 3er. Grado .....   | 111 |

## TABLAS

|    |   |    |
|----|---|----|
| I  | Guía para la localización de fallas eléctricas<br>e instrumentistas en un colector de polvo ..... | 88 |
| II | Guía para la localización de fallas mecánicas<br>en un colector de polvo .....                    | 89 |

## GLOSARIO

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Abrazadera:</b>           | Anillo que abraza cualquier pieza circular de una máquina para sujetarla.  |
| <b>Álabe:</b>                | Cada una de las paletas curvas del impulsor que reciben el impulso del fluido de trabajo.  |
| <b>Cojinete:</b>             | Pieza o conjunto de piezas en que se apoya y gira el eje de un mecanismo.  |
| <b>Compuerta de Clapeta:</b> | Tipo de compuerta que se caracteriza porque su accionamiento depende exclusivamente del peso del material sobre ella, venza el contrapeso instalado en ella. |
| <b>Chumacera:</b>            | Pieza de metal o madera, con una muesca en que descansa y gira cualquier eje de maquinaria.  |
| <b>Damper:</b>               | Válvula de compuerta que se caracteriza por atenuar o regular el caudal de un fluido.  |
| <b>Deflector:</b>            | Pieza mecánica u otro dispositivo para modificar la dirección u otras características de un fluido.  |
| <b>Deflexión:</b>            | Desviación de una pieza con respecto a una eje imaginario que la atraviesa horizontalmente.  |

- Desecador:** Dispositivo que tiene la función de extraer la humedad en un equipo o sistema mecánico.
- Diafragma:** Lámina metálica fina y elástica que se deforma por la acción de las variaciones de la presión del aire. Separación, generalmente movable, que intercepta la comunicación entre dos partes de un aparato o de una válvula.
- Drenar:** Proceso de vaciar un depósito o recipiente mediante un mecanismo de purga.
- Empaquetaduras:** Guarnición de cáñamo, amianto, goma u otros materiales que se coloca en determinados órganos de algunas máquinas para impedir el escape de un fluido.
- Gusano:** Es un tornillo sin fin que tiene la propiedad de transportar material de un lugar a otro, mediante movimientos rotacionales.
- Impulsor:** Mecanismo integrado por un eje en rotación y alabes colocados simétricamente uno respecto del otro en un extremo de dicho eje.
- Inspección VOSO:** Inspecciones que monitorean la condición de un equipo y se caracterizan porque la persona que las realiza no tiene contacto alguno con la maquinaria, estando esta última en operación.



|   |  |
|---|--|
| <b>Interruptor de diferencial de presión:</b> | No es más que un presostato, el cual esta diseñado para proteger o accionar un determinado equipo ante caídas o subidas súbitas de presión.  |
| <b>Maquinado:</b>                             | Proceso de manufactura mediante el cual se reconstruye o recupera una pieza fuertemente dañada.  |
| <b>Motorreductor:</b>                         | Dispositivo mecánico que realiza la función de motor y reductor al mismo tiempo.   |
| <b>Polea:</b>                                 | Rueda acanalada en su circunferencia y móvil alrededor de un eje. Por la canal o garganta pasa una faja en cuyos dos extremos actúan, respectivamente, la potencia y la resistencia.                           |
| <b>Potenciómetro:</b>                         | Instrumento utilizado para medir las diferencias de potencial eléctrico.   |
| <b>Reductor:</b>                              | Dispositivo mecánico regularmente formado por engranajes o discos, el cual tiene la función de reducir las revoluciones por minuto de salida del eje de transmisión de un motor eléctrico.                     |
| <b>Retenedor:</b>                             | Dispositivo mecánico con forma de anillo, el cual se caracteriza por evitar el paso de un fluido de un recinto a otro. Estos dispositivos están fabricados para soportar diversos rangos de presión de fluido. |

- SAP R / 3:** Sistema de aplicaciones y productos para el procesamiento de datos.
- Simulación:** Corrimiento de un plan de mantenimiento, en SAP R / 3, luego de haber establecido la estrategia de mantenimiento a utilizar, creado las distintas posiciones de mantenimiento y asignarlas a la simulación del plan de mantenimiento.
- Solenoides:** Bobina cilíndrica de hilo conductor arrollado de manera que la corriente eléctrica produzca un intenso campo magnético.
- Sprocket:** Mecanismo de transmisión de potencia, generalmente acompañado de cadenas y utilizado para la transmisión de potencia a través de tracciones elevadas de carga.
- Tolva:** Caja en forma de tronco de pirámide o de cono invertido y abierta por abajo, dentro de la cual se almacenan materiales para que caigan poco a poco entre las piezas del mecanismo destinado a triturarlos, clasificarlos o para facilitar su descarga.
- Válvula:** Mecanismo que regula el flujo de la comunicación entre dos partes de una máquina o sistema. Impide el retroceso de un fluido que circula por un conducto.
- Venturi:** Tubería que se caracteriza por aumentar la velocidad de un fluido de trabajo, mediante el paso de este desde una sección de mayor diámetro a una de menor.

## RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo en el proceso de producción minera en seco.

El desarrollo del plan de mantenimiento preventivo se realiza en Microsoft Excel tomando en cuenta todos los parámetros necesarios para su elaboración y su implementación se logra mediante la creación de procedimientos de trabajo para cada una de las actividades de mantenimiento preventivo mecánico y mediante el uso de un sistema de cómputo denominado SAP R/3.

Este trabajo consta de seis capítulos, los cuales se han diseñado para establecer las directrices necesarias para el desarrollo e implementación del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo. En el capítulo uno se presentan todas las generalidades de los colectores de polvo, tales como principios de funcionamiento, descripción de sus componentes, formas de instalación, ajustes operacionales, instrucciones para la operación de los mismos, consideraciones de mantenimiento y síntomas de dificultades.

En el capítulo dos se hace énfasis en el impacto ambiental que tiene el uso de sistemas de colectores de polvo, en la producción minera en seco, tomando como referencia bibliográfica internacionalmente aceptada a las leyes, reglamentos y normas mexicanas, se analiza la situación actual que presenta el recurso aire en Guatemala, se propone una gestión nacional ambiental para la reducción de la contaminación atmosférica y se analizan los beneficios y consecuencias que genera el uso de sistemas de colectores de polvo.

En el capítulo tres se describe la situación actual que presenta el mantenimiento preventivo en el sistema de colectores de polvo, la estructura que presenta el departamento de mantenimiento mecánico, los tipos de mantenimiento que se realizan en la industria de la producción minera en seco, los monitoreos de condición que se practican en los colectores de polvo y/o equipos correspondientes y la forma en que estos monitoreos se convierten en ordenes de trabajo preventivas para los equipos que así lo requieran.

En el capítulo cuatro se desarrolla completamente el plan de mantenimiento preventivo, tomando en cuenta factores tales como ubicaciones técnicas, descripción de la actividad de mantenimiento, frecuencia de mantenimiento, tiempos de duración de la actividad, cantidad de personas necesarias y puesto de trabajo responsable. Aquí se elabora el diagrama de gantt para cada una de las actividades contenidas en el plan, ya que este es el corazón de cualquier planificación de mantenimiento.

En el capítulo cinco se propone la implementación del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, mediante la elaboración de procedimientos de trabajo para cada una de las actividades de mantenimiento preventivo mecánico y a través de la creación de una simulación para dicho plan de mantenimiento preventivo, en el paquete de computación SAP R/3. Para tal simulación se crearon posiciones de mantenimiento, hojas de ruta y se definieron los distintos paquetes de mantenimiento en base a la estrategia de mantenimiento seleccionada.

En el capítulo seis se le da seguimiento al cumplimiento del plan y a los resultados obtenidos por el corrimiento del mismo, a través del análisis de pareto y / u otros indicadores de mantenimiento, además se señalan los mecanismos de control para el seguimiento de las ordenes de trabajo.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Desarrollar e implementar un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo.

### **Específicos**

1. Determinar los componentes que influyen en el funcionamiento de un colector de polvo.
2. Evaluar el impacto ambiental que tiene el uso de sistemas de colectores de polvo.
3. Analizar la situación actual que presenta el mantenimiento preventivo del sistema de colectores de polvo para determinar las consecuencias que genera la falta de un plan de mantenimiento preventivo para los mismos.
4. Determinar los parámetros necesarios para la realización de un plan de mantenimiento preventivo eficiente.
5. Establecer los mecanismos necesarios para la correcta implementación del plan de mantenimiento preventivo.
6. Verificar el cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo por parte de los departamentos involucrados en el mismo.



## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento preventivo ha sido, a lo largo de la historia, vital para la prevención de paros no programados de maquinaria a consecuencia de una falla o avería. Lamentablemente en muchas empresas o industrias no es aplicado por la falta de una planificación ordenada para el mismo.

Los colectores de polvo son máquinas diseñadas para trabajar en procesos de producción minera en seco y cumplen las funciones de almacenar el material en polvo para su posterior descarga y evitar que éste salga expedido al ambiente. Como toda máquina mecánica, requiere de un mantenimiento preventivo para asegurar su disponibilidad y confiabilidad y por consiguiente, evitar en lo posible, los paros de producción no programados. Por tal motivo, se presenta el desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo de una planta de extracción minera.

Dicho plan de mantenimiento está conformado por los aspectos necesarios para su funcionamiento, como nombre del equipo, frecuencia de mantenimiento, actividad de mantenimiento a realizar, tiempo de duración de la actividad y número de personas necesarias. Además, se presenta un diagrama de Gantt dentro de la misma estructura del plan, lo cual sirve para planificar a través del tiempo las distintas actividades de mantenimiento tomando en consideración la disponibilidad de horas hombre.

La implementación de dicho plan consiste en la elaboración de procedimientos de trabajo para las actividades de mantenimiento mecánico y la

creación de una simulación para el plan de mantenimiento preventivo propuesto, mediante el uso del programa SAP R / 3. Algunas ventajas que brinda el sistema SAP R / 3 son la generación de órdenes de trabajo automáticas, establecimiento de historial para cada uno de los colectores de polvo mediante el cierre de ordenes de trabajo previamente realizadas y cuantificación de los costos que generan dichas labores de mantenimiento.

En cuanto al seguimiento del plan de mantenimiento preventivo, se aplican mecanismos de control en la planificación de las actividades de mantenimiento, mediante indicadores basados en los tiempos de funcionamiento continuo, los tiempos de paro no programados y los tiempos de mantenimiento de los colectores de polvo.



# **1. GENERALIDADES DE LOS COLECTORES DE POLVO**

## **1.1 Principios de operación**

A continuación se detallan los principios de operación más importantes en lo referente al funcionamiento de los colectores de polvo.

### **1.1.1 Funcionamiento**

El colector de polvo es un equipo que admite gas cargado de polvo, lo filtra, almacena el polvo y descarga el gas ya limpio. Se instala sobre un recipiente o silo, o bien, sobre un dispositivo para manejar materiales que llene las funciones de tolva para recibir el polvo acumulado y como un punto de conexión para el ducto que introduce el gas cargado de polvo al colector.

Su principio de funcionamiento se basa en el ingreso de gas cargado con polvo, el cual entra a la tolva e invirtiendo la dirección del flujo, las partículas pesadas de polvo son obligadas a abandonar la corriente del gas y permanecer en la tolva. Continuando su movimiento ascendente, el gas encuentra y rodea bolsas tubulares, pasa a través de las bolsas y asciende a un compartimiento pleno de aire limpio del cual es expulsado.

El polvo contenido en el gas no penetra el medio filtrante del que están construidas las bolsas sino que queda depositado en su superficie exterior. A intervalos específicos se inicia un ciclo de limpieza, durante el cual el colector de polvo automática y sucesivamente limpia las bolsas. Para facilitar esto, una válvula pulsante envía una ráfaga de aire comprimido a través de las bolsas en

dirección opuesta. Esto, momentáneamente frena el flujo de gas y desaloja el polvo de la superficie de las bolsas. El polvo cae en la tolva y es retirado por el mecanismo que ha sido incorporado en el sistema con este propósito.

### **1.1.2 Movimiento de gases**

Los gases son movidos a través del colector de polvo por uno de dos métodos: succión o presión. En los sistemas de succión, un ventilador instalado bajo la corriente del compartimiento de escape o de salida induce los gases a través del colector de polvo desde la entrada de ventilación. En un sistema de presión, un ventilador en la entrada de ventilación fuerza los gases a través del colector de polvo.

La naturaleza de cada uso particular, determina cuál método deberá ser usado y no establece ninguna diferencia significativa en la operación.

### **1.1.3 Ciclo de limpieza**

El ciclo de limpieza es la principal característica del colector de polvo. Por medio de esta posibilidad de auto – limpiarse, el equipo es capaz de operar ininterrumpidamente.

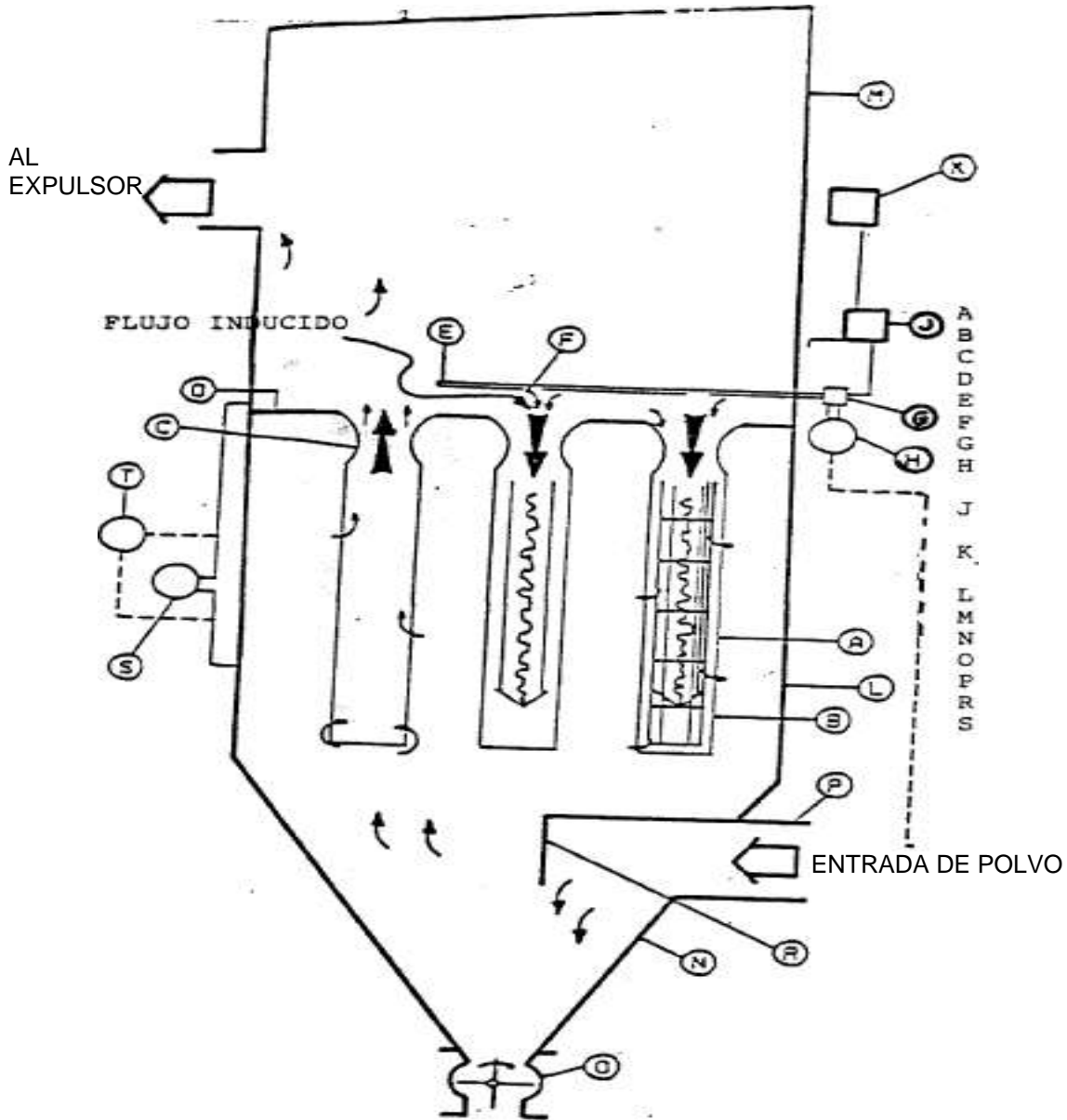
Cuando se inicia el ciclo de limpieza, las válvulas pulsantes de una o más hileras de bolsas se abren para inyectar una corta ráfaga de aire comprimido a través de tubos de descarga y venturis, el cual llega al interior de las bolsas desde el lado de gas limpio. Este pulso de aire comprimido origina ondas de choque a lo largo de las superficies de las bolsas del colector de polvo, flexionando y expandiendo cada bolsa para romper la acumulación de polvo

suelto de la superficie exterior. La duración de este pulso es ajustable para acomodarse a los diferentes tipos de polvo.

Después de un período ajustable de tiempo, el mismo proceso se efectuará en la siguiente hilera; el ciclo de limpieza continuará de hilera en hilera hasta que todas hayan sido limpiadas. La frecuencia con la que el ciclo de limpieza se repite está determinada por los ajustes del *timer* y de los controles externos conectados a él.

Las hileras fuera de servicio durante el ciclo de limpieza, solo lo estarán durante unos pocos milisegundos. Las otras hileras permanecen en operación durante ese periodo y el proceso de filtrado continúa sin interrupción. El tiempo total requerido para limpiar completamente el colector de polvo depende del número de hileras y del intervalo de tiempo entre hileras.

**Figura 1. Componentes de un colector de polvo**



- |   |                        |                      |                       |
|---|------------------------|----------------------|-----------------------|
| A. Bolsa del filtro                       | B. Retenedor           | C. Venturi espejo    | D. Tubo de soplado    |
| E. Orificio                               | F. Válvula pulsante    | G. Cabezal de aire   | H. Caja de la válvula |
| J. <i>Timer</i>                           | M. Cuerpo del colector | N. Deflector/Difusor | S. Manómetro          |
| T. Interruptor de diferencial de presión. |                        |                      |                       |

Fuente: Manual de los colectores de polvo. ACS Engineering SRL. Pág. 10

#### 1.1.4 *Timer* (Control de tiempo)

Las funciones del *timer* son las siguientes:

- Accionar automáticamente la secuencia de la limpieza de las hileras en el colector de polvo.
- Controlar el periodo de tiempo durante el cual la válvula pulsante esta abierta.
- Controlar el intervalo de tiempo entre la limpieza de una y otra hilera.

Para llevar a efecto sus funciones, el *timer* activa los solenoides que controlan la válvula o válvulas pulsantes en cada hilera.

El *timer* puede ser conectado para funcionar en cualquiera de las dos siguientes modalidades:

- En base a un ciclo continuo.
- Bajo el control de un interruptor de diferencial de presión.

En la primera modalidad, el *timer* opera en base a su propio control para ciclar continuamente mientras que esté conectado a la corriente. El ciclo de limpieza progresa desde la primera hilera(s) y así sucesivamente a través de todas las hileras, hasta volver a comenzar desde la primera hilera otra vez.

Cuando opera en la segunda modalidad, bajo el control de un interruptor diferencial, el *timer* arranca siempre que la caída de presión, a través del colector de polvo, excede un valor predeterminado. El interruptor está conectado al *timer* y cuando la diferencia de presión alcanza su valor, cierra los contactos y pone en funcionamiento al *timer*, el cual continuará funcionando hasta que el ciclo de limpieza reduce el diferencial de presión y los contactos del interruptor se abren de nuevo.

### **1.1.5 Manómetro de diferencial de presión**

El manómetro de diferencial de presión proporciona una indicación visual de la caída de presión a través del colector de polvo. Se emplea para establecer los intervalos en el ciclo de limpieza de tal forma que se obtenga la combinación óptima entre la frecuencia de la limpieza y el diferencial de presión. Adicionalmente, el manómetro puede indicar condiciones anormales de presión que pueden ser la primera señal de un problema. El manómetro es solo un indicador y no puede controlar la operación del equipo.

### **1.1.6 Interruptor de diferencial de presión**

Un interruptor de diferencial de presión opcional puede ser usado para activar automáticamente el *timer* e iniciar el ciclo de limpieza cuando la diferencia de presión a través del colector de polvo alcanza un valor predeterminado. Este valor puede ser establecido mediante un ajuste en el interruptor.

El *timer* operará limpiando las hileras hasta que se alcance la diferencia de presión especificada y el interruptor suspenda la operación del *timer*. Un interruptor de este tipo se usa normalmente cuando la carga de polvo es intermitente o no suficientemente pesada como para requerir una limpieza continua.

### **1.1.7 Válvula pulsante**

La válvula pulsante introduce la ráfaga de aire comprimido para limpiar el lado de las bolsas expuesto al gas para desprender el polvo de ellas. El *timer* determina cuándo y por cuánto tiempo se abrirá la válvula.

La válvula pulsante tiene un diafragma en su interior. El aire de control actúa sobre la superficie superior y mayor del diafragma para mantener la válvula cerrada contra el aire procedente del conducto de aire comprimido que actúa sobre la superficie inferior y menor del diafragma. Cuando se energiza el solenoide, la parte superior de la válvula se abre a la atmósfera y la fuerza ya no es suficiente para mantener la válvula cerrada contra el aire que actúa en su parte inferior. El diafragma es forzado a abrirse y el aire irrumpe bruscamente a través de la válvula hacia el tubo de soplado.

Cuando el *timer* desenergiza el solenoide, la parte superior de la válvula deja de ser ventilada de tal forma que se establece una fuerza suficiente para asentar el diafragma y cerrar el flujo de aire.

### **1.1.8 Cabezal de aire comprimido (*Header*)**

La función del cabezal de aire comprimido es la de proporcionar un suministro adecuado de aire comprimido a las válvulas pulsantes. El cabezal de aire comprimido ha sido diseñado en tamaño para satisfacer la demanda de aire comprimido y está localizado tan próximo, como es posible, a las diversas válvulas para minimizar la caída de presión desde el cabezal a los puntos de destino.

El aire comprimido procedente del cabezal, debe tener una presión contenida en el intervalo de 70 a 90 libras por pulgada cuadrada (4.9 a 6.3 kgs/cm<sup>2</sup>) para que se obtenga un funcionamiento satisfactorio del equipo.

El cabezal debe estar equipado con un medidor de presión y una válvula de purga.

### **1.1.9 Tubo de soplado**

El tubo de soplado es un tramo de tubo localizado en el lado de descarga de la válvula pulsante, centrado encima de una hilera de bolsas, con orificios uniformemente espaciados a lo largo del tubo.

Cuando el diafragma de la válvula pulsante se abre, un brusco flujo de aire comprimido es expelido dentro del tubo de soplado y expulsado a través de los orificios a altas velocidades. Este aire, al salir a alta velocidad por cada orificio, establece un flujo de aire secundario inducido. Los flujos de aire combinados en el interior de las bolsas causan una combinación de una instantánea onda de choque y contraflujos de aire a lo largo de las bolsas desprendiendo el polvo acumulado.

## **1.2 Instalación**

Enseguida se detallan todos los aspectos relacionados con la instalación de un colector de polvo.

### **1.2.1 Consideraciones previas a la instalación**

Después de que el equipo ha sido recibido, debe manejarse cuidadosamente antes de su instalación. Todo componente con superficies maquinadas tales como cierres rotativos, deben almacenarse en un área que proporcione protección contra la intemperie hasta ser requerido para su erección.

Independientemente de que esas superficies están protegidas con papel y cinta impermeables para su embarque, esos materiales tienen una duración



limitada y no deben exponerse por períodos de tiempo prolongados a condiciones climáticas variables. Las bolsas del colector de polvo, que son empacadas separadamente, deben ser conservadas en un recinto seco antes de su instalación.

### **1.2.2 Suministro de aire comprimido**

Las válvulas pulsantes requieren aire comprimido para cumplir sus funciones de limpieza en las bolsas. Para una operación correcta, estas válvulas necesitan un suministro de aire comprimido entre 70 y 90 libras por pulgada cuadrada (4.9 a 6.3 kgs/cm<sup>2</sup>). Dado que el volumen de aire requerido depende del tamaño de la instalación, este se especifica en el proyecto u otra documentación relacionada.

Es importante que el interior de todas las líneas de aire comprimido haya sido limpiado antes de ser puestas en operación. Deben estar libres de escombros, polvo, residuos de corrosión o de algún otro material extraño que pudiera ser impulsado dentro de las válvulas.

Debe instalarse un filtro de tamaño adecuado antes del cabezal para eliminar humedad y aceite. El aire suministrado debe estar limpio y seco para asegurar una operación libre de problemas en el solenoide y el diafragma de la válvula pulsante.

### **1.2.3 Instalación de las bolsas**

A continuación se describe la forma de instalación que requiere cada una de las bolsas contenidas en el colector de polvo.

### 1.2.3.1 Acceso superior

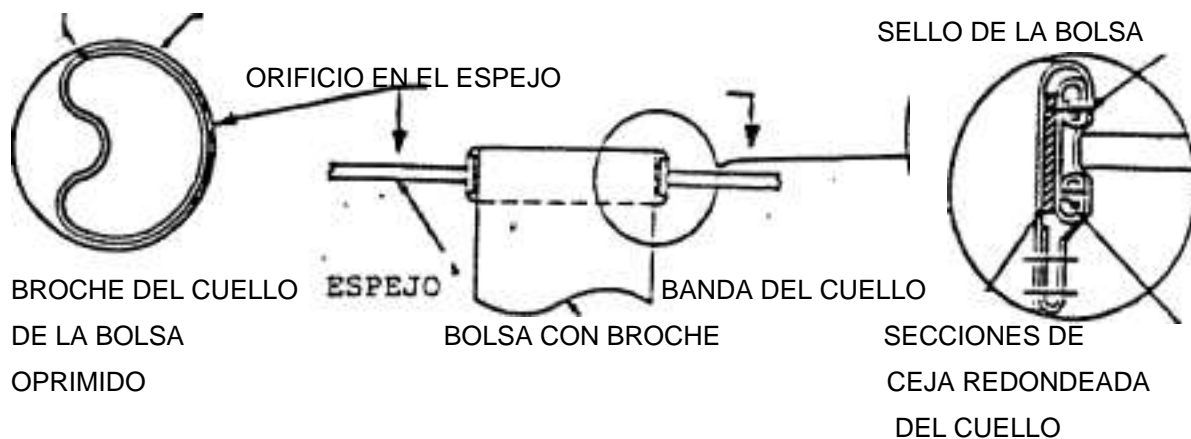
Todas las bolsas, jaulas de las bolsas y venturis se instalan desde el área del recinto de gas limpio en el diseño con acceso superior.

El procedimiento de instalación de las bolsas, venturis y jaulas de las bolsas, se describe de la siguiente manera:

Insertar y comprimir el seguro del cuello de la bolsa en forma de una sección "C" o en forma de riñón tal como se indica en la figura 2. Situar el cuello de la bolsa en forma que el grueso del espejo o plancha de los tubos quede centrado entre las secciones de ceja redondeada y afelpada del cuello. Manteniendo la bolsa en posición, liberar la banda de cierre. Verificar el sellado de la bolsa alrededor de su cuello asegurándose de que está colocada según se describe anteriormente.

Esta junta forma el sello entre el lado de aire sucio y el de aire limpio del sistema. Un sellado deficiente permitirá el paso de polvo al pleno recinto de aire limpio y eventualmente al aire exterior.

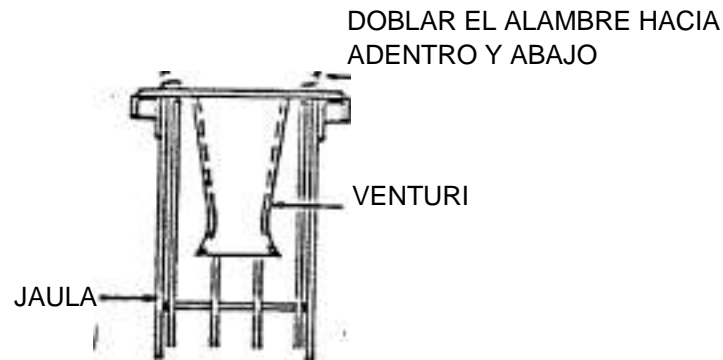
**Figura 2. Instalación de bolsas con broche**



Fuente: Manual de los colectores de polvo. ACS Engineering SRL. Pág. 14

El venturi se debe instalar en la jaula, según se indica en la figura 3. Alinear los dos orificios en la brida del venturi con los alambres que se proyectan arriba del cuello de la jaula. Permitir el deslizamiento del venturi a través de los alambres hasta descansar en la brida del cuello de la jaula. Doblar entonces los alambres hacia abajo y adentro fijando el venturi en la jaula. En muchos casos, el venturi está soldado con puntos a la jaula y no requiere pre-armado.

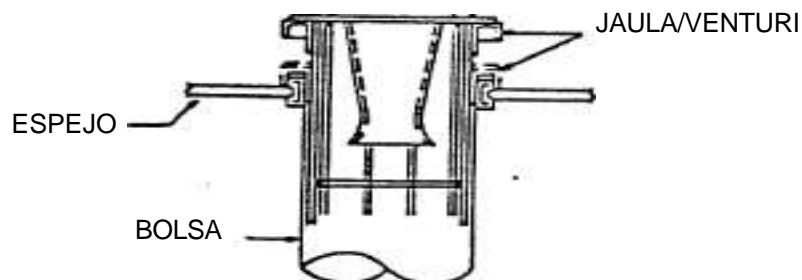
**Figura 3. Conjunto de bolsa y el venturi**



Fuente: Manual de los colectores de polvo. ACS Engineering SRL. Pág. 15

Insertar el conjunto jaula-venturi en la bolsa según se indica en la figura 4. Tener precaución al manejar e instalar las jaulas para evitar dañar las bolsas. No dejar caer las jaulas dentro de las bolsas. Un manejo rudo o descuidado reduce la vida de las bolsas y su eficacia. Las jaulas cuelgan dentro de las bolsas y están soportadas por la plancha de los tubos. No es preciso fijar las jaulas.

**Figura 4. Instalación de la bolsa, jaula y venturi**



Fuente: Manual de los colectores de polvo. ACS Engineering SRL. Pág. 15

#### **1.2.4 Instalación del tubo de soplado**

Insertar el extremo abierto del tubo de soplado con los orificios hacia la placa del tubo, dentro del acoplamiento localizado en la pared del recinto de aire limpio. Empujar el tubo de soplado hacia delante en el acoplamiento, hasta que el extremo con reborde plegado del tubo alcance el soporte rasurado en la pared opuesta del recinto. Alinear el extremo con reborde del tubo de soplado con la ranura del soporte y deslice el tubo de soplado hacia atrás en la ranura hasta que el pasador de fijación esté al ras contra el soporte.

Apretar la tuerca del extremo del acoplamiento; asegure con una llave para tubo.

#### **1.2.5 Manómetro de diferencial de presión**

Los conectores para el diferencial de presión están situados en el recinto de salida y en el cuerpo del colector. Escoger un lugar conveniente y accesible para instalar el manómetro de forma que pueda ser observado cómodamente. El manómetro puede instalarse empotrado o sobre la superficie. El manómetro debe instalarse en una superficie separada del colector de polvo y libre de vibración.

Las interconexiones con el colector de polvo se efectúan empleando los tubos y conectores especificados. Los conectores en el cuerpo del colector y en el recinto de salida están taponados para su protección durante el transporte. Evitar doblar el borde de los tubos durante la instalación y, hasta donde sea práctico, hay que instalar los tubos de forma que queden protegidos contra esos dobleces durante la operación del equipo.

Debido a que el manómetro se empleará para medir una diferencia de presión, la conexión al punto de mayor presión se efectúa a la entrada de “alta” en la parte posterior del manómetro. Esta será la conexión al cuerpo del colector de polvo o a los conductos de entrada. La entrada de “baja” va al recinto de salida. El manómetro se ajusta en cero por medio del tornillo en la base de la carátula no habiendo flujo en el colector. La existencia de fugas en la instalación del manómetro puede ocasionar indicaciones erróneas. Por último, se debe revisar que todas las conexiones han sido debidamente apretadas.

### **1.2.6 Interruptor de diferencial de presión**

El interruptor de diferencial de presión es un componente opcional. Cuando se incluye en el sistema, se instala simultáneamente con el manómetro de diferencial de presión.

Al igual que el manómetro, el interruptor debe ser instalado en un lugar accesible y que proporcione protección a los tubos. Los dobleces o deformaciones en los tubos pueden alterar o impedir su funcionamiento. El interruptor debe instalarse en forma de que no esté afectado por vibraciones que puedan alterar su operación.

El interruptor de diferencial de presión se instala en paralelo con el manómetro. El conector en la parte inferior del interruptor se conecta a la línea de alta presión y el conector con salida lateral a la línea de baja presión. El interruptor no puede accionar el *timer* si estas conexiones están invertidas. Se debe revisar que no hay fugas en la instalación.

Se requieren dos salidas eléctricas para conectar este interruptor con el circuito del *timer*.

Por medio del tornillo de ajuste para destornillador, localizado en el lateral de la caja del interruptor, hay que establecer el diferencial de presión con el que el *timer* activará el ciclo de limpieza. La posición típica de ajuste es para una caída de presión de 6 pulgadas (15.2 cm de agua). Cuando se alcanza este valor, se cierran los contactos y comienza el ciclo de limpieza.

### **1.2.7 Sistema eléctrico**

El diseño de la instalación eléctrica y el suministro de interruptores de seguridad asociados deben ser instalados en conjunto con accesorios eléctricos que sean compatibles con las características y consumos del equipo.

### **1.2.8 Suministro de energía**

El *timer* normal requiere de un suministro de energía de 115 voltios, 1 fase y 50 ó 60 hertz de corriente. Si solamente se dispone de voltajes más elevados, se debe instalar un transformador externo con el propósito de lograr el voltaje de alimentación requerido.

Se puede suministrar un transformador de 0.250 KVA para ser fijado en una pared, como un componente opcional cuando se le necesite.

### **1.2.9 Equipos complementarios para climas fríos**

Los colectores de polvo que son instalados en el exterior y están sujetos a condiciones climáticas por debajo de la temperatura de congelación, pueden ser provistos con equipos complementarios contra el frío, a fin de proteger las válvulas solenoides contra la congelación de humedad en las líneas de aire

comprimido. Estos equipos complementarios consisten en cables para calefacción eléctrica y aislamiento contra la intemperie.

Si un desecador regenerativo se instala en la línea de aire, no son necesarios los equipos complementarios para climas fríos.

### **1.2.10 Lubricación inicial**

La lubricación de los motores, motorreductores y demás equipo en general, debe efectuarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante antes de ponerlos en funcionamiento.

### **1.2.11 Verificación previa a la operación**

Después de que se ha terminado la instalación, efectúe una cuidadosa verificación antes de poner el sistema en funcionamiento. Los siguientes aspectos deben ser incluidos en la verificación:

- Revisar que todos los orificios y ranuras hayan sido sellados para minimizar fugas.
- Inspeccionar que todos los componentes y partes, que así lo requieran, hayan sido lubricados debidamente.
- Eliminar cualquier escombros o materia extraña del interior del equipo.
- Verificar que todos los motores, ventiladores y cintas transportadoras tengan su rotación en la dirección especificada.

- Comprobar, durante un ciclo de limpieza, de que cada válvula pulsante opera adecuadamente.
- Previo a cerrar y asegurar la(s) puerta(s) de acceso al compartimiento, verifique que sus juntas de sellado están en sus lugares correspondientes.

### **1.3 Ajustes operacionales**

Los únicos ajustes operacionales que es posible efectuar en el colector de polvo son los correspondientes al *timer* y los del interruptor de diferencial de presión. Ambos se relacionan directamente con el ciclo de limpieza y su frecuencia.

#### **1.3.1 Frecuencia de la limpieza**

La frecuencia con la que el colector de polvo se limpia, está esencialmente en función del volumen de aire y de la cantidad de polvo en el aire. Otros parámetros secundarios que influyen en la frecuencia de limpieza del colector de polvo son: la cantidad de material contenido en las bolsas, el tipo de material, la densidad del material, la resistencia al flujo de aire que presentan las bolsas, el desgaste al que están sometidas las bolsas y la ventilación efectiva de las mismas.

### **1.4 Instrucciones para la operación**

En lo referente a la puesta en marcha de un colector de polvo, deben de tenerse en cuenta tres secuencias fundamentales para el correcto funcionamiento del mismo. Estas tres secuencias se detallan a continuación.



### **1.4.1 Inicio de la secuencia con bolsas nuevas**

Antes de arrancar debe suministrarse aire comprimido al tubo cabezal. Al arrancar el sistema, el equipo de manejo de materiales se arranca primero cuando tal equipo esta incluido en el colector de polvo. Si el sistema incluye otros equipos, se asume generalmente que los de flujo descendente inician primero su operación y la secuencia progresa hacia los de flujo ascendente de tal forma que no se aplica carga a una parte del equipo hasta que está en condiciones de operación.

Los impactos de polvo a alta velocidad, debido a la baja resistencia al flujo de aire en las bolsas nuevas, pueden originar penetración del polvo. Esto es particularmente cierto cuando la corriente de aire transporta materiales que tienden a “cegar” las bolsas.

Una costra de resistencia al filtrado (diferencial de presión a través de la bolsa) es el resultado de una acumulación de polvo en la superficie exterior de la bolsa. Esta acumulación proporciona mejores características de filtración y protege a la bolsa contra el desgaste.

Por consiguiente, se debe cerrar el atenuador de entrada o de salida antes de arrancar con bolsas nuevas. Después de que el extractor entre en funcionamiento, se debe abrir el atenuador gradualmente a no más del 50% hasta que la resistencia del filtrado de la bolsa sea de aproximadamente 3” a 4” de agua de caída de presión (indicada por el manómetro de presión). Luego de que las condiciones anteriores hayan sido satisfechas, se debe abrir el atenuador totalmente o ajustarlo a una posición adecuada para satisfacer las condiciones de operación.

El *timer* para la limpieza de las bolsas debe colocarse en la posición de máximo tiempo hasta que la caída de presión alcance un valor de 3" a 4" de agua.

#### **1.4.2 Secuencia de arranque con bolsas curadas**

El aire comprimido debe aplicarse al cabezal antes de arrancar. Al iniciar la operación del sistema, si se incluye un equipo de manejo de materiales, éste debe arrancarse primero.

Luego se conecta la energía eléctrica al *timer* y se arranca el sistema de ventilación iniciando el flujo de gases. Si hay algún otro equipo en el sistema, se asume generalmente que los equipos de flujo descendente se arrancan primero y la secuencia progresa hacia los de flujo ascendente, de forma que no se aplique carga a un equipo sino hasta que está en condiciones de operación.

#### **1.4.3 Secuencia para detener el funcionamiento**

La secuencia para suspender la operación del equipo es la inversa de la empleada para el arranque. La ventilación del sistema es interrumpida primero, a continuación el *timer* y el equipo de manejo de materiales al final. En un sistema que contenga humedad o en el que el material sea higroscópico, es preciso mantener en operación el colector de polvo y el ventilador durante un cierto período de tiempo después de que el sistema ha sido parado a fin de eliminar la humedad del equipo. Si el proceso incluye sistemas de ignición tales como secadores u hornos, el equipo debe ser operado a fuego lento por lo menos durante una hora hasta que seque completamente y la temperatura se mantenga bajo los límites especificados.

En todos los sistemas es importante mantener en operación el equipo de manejo de materiales hasta que descargue todo el material que ha acumulado el colector de polvo.

No es preciso suspender el suministro de aire comprimido cuando se para el colector de polvo. De hecho, es deseable conservar las líneas bajo presión.

## **1.5 Mantenimiento**

Un buen programa de mantenimiento preventivo disciplinado, eliminará muchas interrupciones y proporcionará años de operación satisfactoria en el colector de polvo. Por consiguiente es necesario que los procedimientos de mantenimiento preventivo sean revisados, aplicados y adecuados a las condiciones locales o inusitadas de operación después de un período razonable de uso.

A continuación se detallan los procedimientos de mantenimiento preventivo para los principales equipos que forman parte de la estructura de un colector de polvo.

### **1.5.1 Drenaje del cabezal de aire**

Periódicamente se debe abrir la válvula de purga del cabezal de aire comprimido para desalojar la humedad acumulada. La frecuencia requerida variará dependiendo de la calidad del aire comprimido pero no debe permitirse que la cantidad de agua acumulada en el cabezal exceda de  $\frac{1}{4}$  de su volumen.

No es necesario detener la operación del equipo, porque la cantidad de aire perdido durante el intervalo de tiempo requerido por el *timer* no reduce la

presión suficiente para alterar la operación. Para facilitar el mantenimiento es aconsejable prolongar el tubo y la válvula a un nivel bajo para tener un fácil acceso a la purga.

### **1.5.2 Desgaste de las bolsas**

El desgaste de las bolsas es gradual y, dependiendo de su aplicación, su periodo de vida será de uno a cuatro años. El desgaste prematuro de las bolsas es atribuible usualmente a ataques químicos o a degradación debida a altas temperaturas.

Numerosos factores pueden ocasionar un desgaste anormal. En algunos casos, materiales muy abrasivos pueden causar un desgaste en el fondo de las bolsas. Un incremento en volumen del sistema puede ser causa de una mayor velocidad y consecuentemente incrementar la abrasión.

Los gases que excedan las temperaturas máximas permitidas para determinadas telas, pueden causar deterioro. La temperatura máxima de operación para el polipropileno es 180 °F (82 °C); para el acrílico y el poliéster es 275 °F (135 °C); para Nomáx es 425 °F (219 °C) y para la fibra de vidrio es 500 °F (260 °C).

No se debe operar el colector de polvo con bolsas rotas; además de que permite el paso de polvo a la atmósfera, operar con bolsas rotas durante un tiempo ocasiona una acumulación de polvo en el compartimiento pleno de gas limpio. El aire comprimido procedente de las válvulas impulsa este polvo dentro de otras bolsas desgastándolas desde su parte superior y acelerando su deterioro.

### **1.5.3 Reparación de las bolsas**

Cuando una bolsa se daña en áreas pequeñas puede parcharse usando parte de una bolsa vieja o un trozo de material nuevo del mismo tipo. El parche se efectúa pegando el material sobre el área dañada usando un compuesto de hule de silicón que sea compatible con la temperatura de operación y con las características químicas del polvo.

### **1.5.4 Retiro de las bolsas y su reemplazo**

El retiro de las bolsas y su posterior reemplazo, se efectúa a través de la puerta del pleno en el lateral del colector de polvo, después de que se ha detenido la operación del sistema y se ha apagado el *timer*. Existen dos formas de retirar y reemplazar las bolsas, las cuales se detallan a continuación.

#### **1.5.4.1 Acceso superior**

Como primer paso, se deben aflojar las tuercas de los acoplamientos y sacar los tubos de soplado que se encuentran sobre las bolsas que se desean retirar. Cuidadosamente se debe levantar las jaulas sacándolas de las bolsas evitando dañar a estas. Seguidamente, se debe sujetar el cuello de la bolsa con ambas manos y apretarlo en forma de riñón para liberar la tensión existente en la bolsa. Luego jalar la bolsa hacia arriba y sacarla cuando el cuello esté fuera del orificio de la plancha de tubos.

#### **1.5.4.2 Acceso lateral**

En esta forma de reemplazo de las bolsas, se debe retirar la abrazadera que fija la bolsa al cuello. La bolsa y la jaula pueden entonces desmontarse del cuello y sacarse del colector.

### **1.5.5 Manómetro de diferencial de presión**

Si las indicaciones del manómetro de diferencial de presión son mayores o menores que lo normal, se debe revisar las líneas de conexión para estar seguro de que no están obstruidas por polvo. Si la aguja del manómetro se mueve cuando se está limpiando una hilera, ello es también una indicación de que alguna línea está obstruida. Si su diafragma o alguna otra parte se rompe, reemplace el manómetro inmediatamente.

### **1.5.6 Interruptor de diferencial de presión**

En el caso de un funcionamiento defectuoso del interruptor de diferencial de presión, verificar que las líneas no están obstruidas y que no hay fugas en ninguna de las conexiones.

### **1.5.7 Válvulas pulsantes**

La válvula pulsante es una válvula de diafragma, en la cual el diafragma y el resorte son las únicas partes móviles. Para reemplazarlos, se debe suspender el suministro de aire a alta presión y el *timer* debe ser desenergizado antes de intentar dar servicio a las válvulas pulsantes. Para realizar el mantenimiento a las válvulas pulsantes, se deben realizar las siguientes actividades:

- Desconectar la línea de aire que entra a la válvula pulsante y a la válvula solenoide.
- Retirar los tornillos que fijan el bonete al cuerpo de la válvula.
- Separar el bonete del cuerpo

- Volver a armar la válvula con un diafragma y resorte nuevos, colocar la tapa y conectar la línea de aire.
- Restablecer el suministro de aire de alta presión, energizar el *timer* y verificar el funcionamiento de la válvula.

## **1.6 Síntomas de dificultades**

Como siguiente punto se detallan los síntomas de dificultades más comunes durante el funcionamiento de un colector de polvo.

### **1.6.1 Pérdida de ventilación**

Una pérdida completa de ventilación, generalmente significa que el ventilador no está funcionando. Se debe revisar si existe una condición de sobrecarga en el motor o una interrupción en el suministro de energía eléctrica.

### **1.6.2 Caída de presión excesiva**

Una caída excesiva de presión puede ocasionar una pérdida de ventilación atribuible a alguna condición en el colector de polvo. Las causas probables son las siguientes:

- Una válvula pulsante no está operando.
- El funcionamiento del *timer* presenta algún defecto.
- La presión de aire es demasiado baja, causando pulsos de limpieza insuficientes.

- El flujo de gas es mayor que el permitido por el diseño del sistema.

### **1.6.3 Válvula pulsante inoperante**

Una válvula pulsante puede dejar de operar por diferentes causas. Si está totalmente inactiva, revise la bobina del solenoide en control de la válvula, el *timer* y las conexiones relacionadas. Se recomienda revisar el manómetro en el alimentador del cabezal para ver si la presión de aire se mantiene a un nivel adecuado o está sometida a un drenado constante y excesivo.

Una baja presión en el cabezal puede indicar un problema en el suministro de aire comprimido al colector de polvo. Un drenado constante puede ser ocasionado por un diafragma roto, y esto, usualmente puede percibirse por el oído en la válvula defectuosa. Sin embargo, el problema es usualmente atribuible a los orificios en la válvula de control que han sido obstruidos por polvo procedente de las líneas de aire comprimido. En este caso se debe desarmar la válvula y limpiarla.

### **1.6.4 Polvo en la descarga**

Generalmente, la presencia de polvo en la descarga es síntoma de que algunas bolsas están rotas. Es por tal razón que es necesaria la inspección de las bolsas de cada hilera para localizar el defecto. Posteriormente se deben reemplazar las bolsas rotas de acuerdo con el procedimiento descrito en la sección de instalación.

Una descarga continua puede ser el resultado de un sellado defectuoso en la bolsa, permitiendo que el aire cargado de polvo penetre entre la bolsa y la plancha del tubo hasta el interior del pleno o recinto de aire limpio.



No es raro percibir una ligera neblina en el gas filtrado al arrancar después de que se han instalado bolsas nuevas o después de que ha sido limpiada una hilera. Algunos tejidos, cuando están nuevos o recién limpiados, permiten el paso de diminutas partículas de polvo durante un breve período de tiempo. Esta penetración, puede ser percibida algunas veces como una neblina en la descarga de aire limpio. Esta condición es transitoria y no requiere ninguna medida correctiva.

#### **1.6.5 Infiltración de humedad**

Debe tenerse cuidado en evitar la entrada de humedad, especialmente en los colectores de polvo que operan en base a una presión estática negativa, ya que puede penetrar humedad por cualquier punto que no esté sellado. Si se sospecha de alguna zona en particular, debe ser limpiada y sellada con resina epóxica o sellador de hule de silicón.

#### **1.6.6 Condiciones de alta temperatura**

La operación de sistemas de colectores a altas temperaturas tiende a ser crítica. Usualmente implica el filtrado de gases que son producto de una combustión y contienen humedad y otros vapores que se pueden condensar en las bolsas bajo ciertas condiciones adversas. Cuando tal condensación tiene lugar, las bolsas no pueden continuar filtrando el flujo de gases, este se detiene y el diferencial de presión se incrementa drásticamente.

Adicionalmente, la interrelación entre el ventilador y su temperatura de operación, la presión estática y la temperatura de los gases requiere una consideración especial. Si ocurren desequilibrios o variaciones más allá de los esperados, pueden suscitarse problemas como ventilación inadecuada, presión

excesiva en el cuerpo del colector de polvo o sobrecarga en las bolsas o en el motor.

## **2. IMPACTO AMBIENTAL DEL USO DE SISTEMAS DE COLECTORES DE POLVO**

A pesar de que Guatemala ha tenido avances mínimos en materia de gestión ambiental mediante decretos e iniciativas dispersas y temporales; ninguna de ellas va orientada a la temática de la regulación de la contaminación del aire. Por tal razón, se hace uso de la Normativa Internacional Mexicana en lo concerniente a la contaminación del aire, dado a que es una de las más completas a nivel latinoamericano.

### **2.1 Leyes internacionales para la reducción de la contaminación del aire**

A lo largo de la historia han sido promulgadas una gran cantidad de leyes referidas a la protección del medio ambiente en general. Estas leyes han tenido como principal temática la protección y el uso adecuado de los recursos naturales renovables y no renovables tales como el agua, diversidad de la fauna y flora, suelos, aire, etc. En esta ocasión se hará referencia a los más importantes reglamentos y normas internacionales referidas a la protección y cuidado del sistema atmosférico en general.

#### **2.1.1 Reglamentos en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica**

Dado que no existe una normativa guatemalteca que regule la contaminación del aire, se tomó como referencia internacionalmente aceptada la Normativa Mexicana; debido a que es una de las más completas a nivel latinoamericano, se acopla bastante bien a los problemas atmosféricos de cualquier país en vías de desarrollo y ha tenido una gran evolución e

importancia debido a los grandes problemas atmosféricos que afronta el estado mexicano.

**A) Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), México:**

El reglamento de la LGEEPA en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica, se publicó el 25 de noviembre de 1988, y el 3 de junio del 2004 se reformó para integrarle el apartado del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. En dicho reglamento se definen los procedimientos técnico-administrativos a los que están sujetas las fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos que corresponden a la jurisdicción territorial.

**B) Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal de México:**

Este reglamento fue publicado el 3 de diciembre de 1997. En su Título IV trata brevemente lo relacionado a la prevención y control de la contaminación atmosférica generada por las fuentes fijas y móviles. En el Capítulo II trata la contaminación atmosférica generada por las fuentes fijas, menciona que las emisiones deben de estar conducidas por chimeneas o ductos y deberán tener plataformas y puertos de muestreo; y se trata lo relacionado con las fuentes móviles, definiendo cuales son los vehículos contaminantes, los requisitos para su verificación y la limitación para circular así como sus diferentes excepciones.

### **2.1.2 Normas oficiales mexicanas como referencia internacionalmente aceptada.**

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) que regulan las emisiones contaminantes provenientes de fuentes fijas y fuentes móviles y su medición, son elaboradas por la SEMARNAT, la que se coordina con el Comité Nacional de Normalización, con las dependencias, entidades, sectores y sociedad en general para la elaboración y operación de dichas normas. En lo que respecta a la elaboración y actualización de las normas de calidad del aire para protección de la salud, es responsabilidad de la Secretaría de Salud.

Dentro de las normas oficiales mexicanas, que tienen como objetivo la reducción de los contaminantes atmosféricos, destacan por su importancia las siguientes:

#### **A) Normas mexicanas vigentes en materia de calidad del aire:**

Dentro de las normas mexicanas vigentes en materia de calidad del aire, se detallan a continuación las siguientes:

- NOM-020-SSA1-1993: Norma que define el criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono ( $O_3$ ). Dentro de su contenido se encuentra definido un valor para la concentración de ozono ( $O_3$ ) en el aire del ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
- NOM-021-SSA1-1993: Norma que define el criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Esta norma establece un valor permisible para la concentración de monóxido de carbono en aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

- NOM-022-SSA1-1993: Norma que define el criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Esta norma establece un valor normado para la concentración de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
- NOM-023-SSA1-1993: Norma que define el criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). En ella esta decretado un valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
- NOM-024-SSA1-1993: Norma que define el criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a partículas suspendidas totales (PST). En su contenido esta establecido un valor permisible para la concentración de partículas suspendidas totales (PST) en el aire ambiente como medida de protección de la salud de la población.
- NOM-025-SSA1-1993: Norma que define los criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. En ella esta contenido el valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM10 y partícula PM<sub>2.5</sub> en el aire ambiente como medida de protección de la salud de la población.

## **B) Normas oficiales mexicanas para el monitoreo ambiental**

Dentro de las normas mexicanas vigentes para el monitoreo ambiental, se destacan por su importancia las siguientes:

- NOM-034-SEMARNAT-1993: Su función es la de regular la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
- NOM-035-SEMARNAT-1993: Su función es la de regular la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición.
- NOM-036-SEMARNAT-1993: Su función es la de regular la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
- NOM-037-SEMARNAT-1993: Su función es la de regular la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
- NOM-038-SEMARNAT-1993: Su función es la de regular la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

**C) Normas oficiales mexicanas para fuentes fijas de contaminación ambiental**

- NOM-039-SEMARNAT-1993: Norma que establece los límites máximos permisibles de la emisión a la atmósfera de bióxido y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico, en plantas productoras de ácido sulfúrico.

- NOM-040-SEMARNAT-2002: Norma que establece la protección ambiental en lo referente al proceso de fabricación de cemento hidráulico, así como el ordenamiento de los niveles máximos de emisión a la atmósfera.
- NOM-043-SEMARNAT-1993: Norma que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.
- NOM-075-SEMARNAT-1995: Norma que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de los separadores agua-aceite de las refinerías.
- NOM-085-SEMARNAT-1994: Norma que regula las fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones. Además establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y dictamina los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.

## **2.2 Gestión nacional ambiental para la reducción de la contaminación del aire**

Se define como Gestión Ambiental al conjunto de medidas técnicas, financieras y administrativas que desarrolla la sociedad, con el propósito de lograr el máximo bienestar social, así como prevenir y mitigar los problemas ambientales. En sí busca generar la protección y mejoramiento del medio ambiente.



La Gestión Ambiental comprende leyes, instituciones, políticas, estrategias, programas y proyectos ambientales; adicionalmente considera el interactuar de las políticas, estrategias, programas y proyectos de desarrollo con el medio ambiente; sean propuestas globales, sectoriales o regionales es necesario identificar y cuantificar su interacción con cada sistema ambiental.

Por lo anterior, las instituciones nacionales encargadas de la gestión nacional ambiental deben tener carácter global e intersectorial en su accionar y su requerimiento de contar con el máximo de apoyo político para poder influir efectivamente en la evaluación y revisión de las políticas globales, sectoriales y regionales. Además del apoyo, dichas instituciones requieren de instrumentos para fundamentar y realizar las evaluaciones y proponer revisiones.

### **2.2.1 Situación actual del sistema atmosférico**

La contaminación atmosférica constituye en muchos países y más específicamente en ciudades, el problema ambiental por excelencia. Los grados de polución por dióxido y monóxido de carbono, ácido sulfhídrico o por partículas de diverso origen, "smog" con propensión a estacionarse como nubes envenenadas por inversiones de temperatura y acción fotoquímica, son algunas de las amenazas bien conocidas en la Ciudad de México, ahora, y en el pasado, en Londres, entre muchas otras ciudades.

Las concentraciones geográficas de fábricas y condiciones desfavorables en la ubicación de zonas residenciales aledañas, respecto de los vientos predominantes, han provocado severos cuadros de contaminación y hasta accidentes fatales, caso de envenenamientos por humos con dioxinas y otros contaminantes de origen industrial.

Sumado a lo anterior se han dado casos de severas contaminaciones atmosféricas por lluvias ácidas, algunas veces trascendiendo fronteras caso

de países escandinavos afectados por nubes ácidas provenientes de zonas industriales foráneas, con grandes efectos sobre cultivos, flora, fauna y poblaciones humanas.

Para completar el cuadro, actualmente se habla de la contaminación global que implica el conocido "efecto invernadero" por concentración desmedida de gases que provienen de diversas actividades fundamentalmente humanas, así también la "ruptura de la capa de ozono", por efecto de los clorofluorocarbonos provenientes de múltiples accesorios domésticos y usos industriales.

En la República de Guatemala, principalmente en la ciudad y lugares aledaños a zonas industriales, se dan todos estos tipos de contaminación atmosférica, afectando el recurso aire de varias maneras, aunque no de forma tan crítica como se da en otros países, vale la pena destacar ciertas situaciones fácilmente detectables en el país:

- Humo negro y blanco provenientes de lo obsoleto y mal afinado de motores, principalmente de vehículos que, en calles y avenidas de los centros urbanos del país, así como en cuestas de carreteras transitadas, afectan diariamente a cientos de miles de transeúntes y a los mismos conductores y pasajeros.
- Grandes incendios forestales provocados con el propósito de habilitar tierras para cultivos, o bien incendios accidentales en todo el país.
- Afección por humo y olores nauseabundos que proviniendo del relleno-botadero municipal de basuras de la ciudad capital, alcanza a cientos de miles de habitantes por días y noches enteras según se presente el régimen de vientos.

- Alto contenido de polvo o partículas en el aire de muchos lugares, principalmente por el tipo de suelos (ceniza volcánica) de gran parte del país; situación agravada por la falta de asfalto en carreteras y calles, la alta deforestación y los regímenes de viento.
- Humos de fábricas en áreas urbanas y rurales que afectan poblaciones aledañas con puntuales y eventuales lluvias ácidas, pesticidas, caso de fábricas de fertilizantes en áreas muy determinadas.

Con todo, el caso guatemalteco, en lo atinente a la calidad ambiental del aire, no es comparativamente hablando, crítico ni extendido a grandes coberturas. Aún en el caso de la ciudad capital, con la particular concentración de población y consecuentemente de vehículos y zonas industriales, la contaminación no llega a ser grave.

A pesar de que existen suficientes fuentes contaminantes y la producción de estas últimas sea apreciable, los regímenes de viento predominantes permiten una limpia constante del aire. Se trata de un fenómeno conocido como "efecto venturi" que provoca la aceleración del viento en el "portezuelo" que contiene la ciudad, justo en el "pico" del "parteaguas" del atlántico y del pacífico, a donde llegan vientos orográficos (del mar) tanto de una costa como de la otra (por el cañón de Palín, caso de los vertientes del Pacífico y el Río Motagua, caso de los vientos del mar de las Antillas).

Así, de no darse casos aislados y/o puntuales la situación no parece ser grave en este rubro. Sin embargo, las molestias y problemas causados por este factor deberán corregirse al máximo.

## **2.2.2 Propuesta de un sistema de gestión ambiental**

Ciertamente el país tiene avances formales en materia de gestión ambiental que son destacables. Por ejemplo, es notorio el nivel constitucional en el que se aborda; la emisión de políticas públicas, instrumentos, leyes ambientales y la conformación de un conjunto de instituciones con mandatos en la materia; suscripción de acuerdos ambientales de carácter internacional y diferentes arreglos que permiten la participación de diferentes actores de la sociedad civil en iniciativas ambientales.

Todas estas medidas formales, sin embargo, no tienen un impacto tal que garantice niveles deseables de gestión ambiental. Los indicadores de varios estudios muestran que el estado de los recursos naturales y las condiciones ambientales continúan deteriorándose, y las amenazas son crecientes.

En síntesis, la gestión ambiental nacional sigue siendo marginal. Esta marginalidad es el resultado de desórdenes y falta de liderazgo público, escasas asignaciones presupuestarias, debilidad e insuficiencia institucional en el aparato público, incapacidad para aplicar instrumentos de política vigentes y de aplicación de la legislación ambiental, altos niveles de insensibilidad por las cuestiones ambientales en el ámbito privado, entre otros aspectos.

Sin desestimar lo que, en un marco de mayor responsabilidad y compromiso, podría lograrse con las capacidades nacionales actuales, esta marginalidad es debida sobre todo al hecho de que lo que se hace responde al estilo de desarrollo prevaleciente en el país, donde carencias estructurales, reproducen constantemente no sólo las presiones al capital natural sino la marginalidad de su gestión.

Un punto de partida necesario es la configuración de un fuerte liderazgo público orientado por verdaderas políticas ambientales y un andamiaje institucional sólido y funcional que sea capaz de orientar el accionar de todos los usuarios de los recursos naturales y las condiciones ambientales en la dirección correcta.

Debido a que la situación actual del sistema de gestión ambiental nacional es en cierto modo alarmante, se propone un nuevo enfoque para la organización del mismo. Esta nueva organización debe estar orientada principalmente al mejoramiento de las políticas públicas, a la optimización del capital natural y el desarrollo rural, al acrecentamiento de las cuentas ambientales y al fomento de la participación del sector privado empresarial.

#### **2.2.2.1 Organización de la gestión ambiental**

Como se dijo anteriormente, esta nueva organización de la gestión ambiental deberá estar orientada al abordaje de los siguientes temas:

##### **A) Políticas Públicas**

Como parte del mejoramiento de las políticas públicas actuales, es necesario comprender en primera instancia, que todas ellas no están concebidas como instrumentos para resolver el problema práctico de la conducción ordenada, eficiente y sinérgica de los actores vinculados y por consiguiente no se están facilitando los criterios básicos para que puedan tomar las mejores decisiones en sus respectivos ámbitos de competencia.

Además, aún no se cuenta con una concepción clara y madura de lo ambiental como un todo transectorial, es decir que se debe implicar a todos los

ámbitos mas estrechamente vinculados con lo ambiental. Cuando se observa el panorama de la transectorialidad a la luz de los documentos de política pública existentes, es obligado reconocer que éstas, en general, aun son de inspiración sectorial y dedicadas a entidades específicas.

Por el carácter programático de los actuales documentos de política, es posible afirmar que el Estado-Gobierno aún carece de una política pública completa en medio ambiente. Aunque los actuales documentos son un avance importante, aún no se dispone de un instrumento concebido con el propósito de consolidar un liderazgo gubernamental con el perfil para ofrecer una clara orientación sobre el adecuado accionar de los diferentes actores involucrados y que logre invitar a un suficiente número de adeptos, por lo convincente y evidente de sus argumentos, a incorporarse a un emprendimiento nacional de beneficio para todos los guatemaltecos.

Por tales razones, se recomienda a futuros gobiernos, comprender la “gestión ambiental gubernamental” como una tarea que debe ser asumida por múltiples entidades, algunas con responsabilidades directas y otras sólo con indirectas, que deben actuar en consecuencia de una misma visión. Para el desarrollo práctico de lo anterior, es necesario poder articular un “equipo de trabajo” consistente y en sintonía, esto es, constituido por elementos que compartan la misma visión y tengan la capacidad de ejercer gestión pública eficiente y responsable.

En este sentido, también se recomienda formular, a partir de la política gubernamental, una política ministerial orientada a brindar el necesario acompañamiento y apoyo a todo el aparato de gobierno para dar cumplimiento efectivo a esa política gubernamental adoptada oficialmente.

## **B) Capital natural y desarrollo rural**

En este tema se iniciará hablando acerca del modelo de desarrollo actualmente vigente, el cual está basado en el predominio del individuo sobre el conjunto social, es insostenible y lleva a conflictos inevitables entre los diferentes tipos de capitales. La diferencia de la duración de los ciclos de transformación de la materia en la naturaleza y en la sociedad y la dependencia de la energía fósil, son unos de los argumentos que tienen que tomarse en cuenta al momento de hablar del modelo de desarrollo actual vigente.

El modelo de desarrollo, en el contexto del crecimiento demográfico, se convierte en un demandante de energía para poder cumplir con diferentes propósitos. Estas demandas se concentran en la utilización de los recursos naturales tras la búsqueda del crecimiento y acumulación del capital físico – financiero, y con ello brindar respuesta a las demandas sociales, con los consiguientes impactos en la reducción del capital natural y en la pérdida de la capacidad de resiliencia (o de asimilación de presiones) de los ecosistemas naturales que lo constituyen.

En este sentido, y con el propósito de que la utilización del capital natural se realice sobre bases sostenibles, es necesario el planteamiento, fomento y operación de una serie de medidas orientadas a resolver problemas de tipo estructural que determinan un círculo vicioso entre el uso de este capital y la reproducción de los niveles de pobreza.

Adicionalmente a la respuesta que el estado ha fomentado en materia de conservación de sitios (áreas protegidas) y recuperación de tierras deforestadas, se requiere de una combinación de crecimiento económico pobre, programas de redistribución del ingreso y políticas sociales adicionales, todo

ello orientado a mejorar sustantivamente la situación de grupos tradicionalmente excluidos, como la población indígena y rural, que en la mayoría de los casos están asociados a los problemas de deterioro en el capital natural por cuestiones de sobrevivencia.

### **C) Cuentas ambientales**

Existe un buen nivel de conocimiento sobre el estado del ambiente y las circunstancias que lo determinan. No obstante, a fin de fortalecer las estrategias de incidencia presupuestaria y de revalorización integral de la gestión ambiental, resulta sumamente útil precisar el vínculo que existe entre la economía y la base de recursos naturales y condiciones ambientales que posee el país.

La generación de las cuentas ambientales o cuentas verdes permitirá mostrar con mayor claridad el aporte del capital natural al desempeño económico del país, los niveles de agotamiento y degradación que el mismo padece y por supuesto los niveles de sostenibilidad de tales subsistemas y por consiguiente de la estabilidad socioambiental del país.

La contabilidad ambiental es la herramienta más aceptada en la actualidad, ya que permite hacer este tipo de aproximaciones, vinculando en un esquema cuantitativo coherente y explícito los hechos económicos con los recursos naturales y las condiciones ambientales, permitiendo hacer operativos los conceptos de crecimiento económico y desarrollo sostenible.

El país necesita asumir el desafío de las cuentas ambientales pero no como fin último, sino, nuevamente, como un instrumento para mejorar y adecuar los sistemas de gestión ambiental tanto en el ámbito público como en el privado.



#### **D) Sector privado empresarial**

Con lo consignado anteriormente acerca de la dificultad de establecer políticas públicas adecuadas y sobre todo de implementarlas, así como la debilidad institucional y escaso liderazgo público, resulta razonable esperar una baja armonía entre el quehacer de los actores privados y los objetivos nacionales en materia de gestión ambiental.

Sin embargo, es preciso hacer notar al sector privado empresarial la necesidad de incrementar sus niveles de sensibilidad y solidaridad pues un país con una población sumida en la pobreza y con un capital natural cada vez más deteriorado no podrá aspirar a niveles deseables de gobernabilidad.

El país presenta, no sólo en lo concerniente a los asuntos ambientales sino también en áreas relativas a la salud, la educación y la seguridad, entre otros, niveles altos de rezago. Este estado de situación, que pone de manifiesto la precariedad del país, lo que menos necesita son posiciones confrontativas. En este sentido, resulta poco alentador no sólo en el contexto nacional sino en el internacional, el interés del sector privado empresarial por cuestionar sistemáticamente y arremeter en contra de uno de los instrumentos más prometedores para asegurar ciertos niveles de estabilidad socioambiental de la nación.

##### **2.2.2.2 Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)**

El sector público encargado de la gestión ambiental estuvo encabezado desde 1987 hasta el 2000 por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA.

La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto Legislativo 68-86, especificaba que la función de la Comisión Nacional del Medio Ambiente era la de asesorar y coordinar las acciones que sirvieran para formular y aplicar la política nacional garantizando la protección y el mejoramiento del medio ambiente.

CONAMA se integraba según la Ley, por un Coordinador y un Consejo Técnico Asesor. La organización técnica y administrativa debió ser establecida por el reglamento, documento que nunca se aprobó por las altas autoridades.

El Consejo Técnico Asesor estuvo conformado por la Secretaría de Planificación y Programación, el Sector Público Agrícola, los Ministerios de Educación, de Salud Pública y Asistencia Social, de la Defensa Nacional, el Comité Coordinador de Asociaciones Agrícolas, Industriales y Financieras (CACIF), la Universidad de San Carlos de Guatemala, las Asociaciones de Periodistas de Guatemala y las universidades privadas del país.

Entre las funciones más importantes del Consejo Técnico Asesor estaban las de: "a) Formular la política nacional relativa a la protección y mejoramiento del medio ambiente; b) Asesorar, supervisar, recomendar y dictaminar sobre todas las acciones encaminadas a la aplicación de la política nacional para la protección y mejoramiento del medio ambiente; c) Recomendar los estudios, las obras y trabajos, así como la implementación de medidas que sean necesarias para prevenir el deterioro del medio ambiente.

A cambio de hacer valer las funciones del Consejo Técnico Asesor para que operara, se fue fortaleciendo la organización técnica y administrativa de la institución, lo que provocó que las funciones que por ley le fueron otorgadas, se vieran desvirtuadas.

### **2.2.2.3 Principales retos de la gestión ambiental**

Una gestión ambiental concisa y consecuente conlleva conflictos. No es recomendable llamarse a engaños tratando de ignorar que ella se deberá oponer a muchísimas prácticas de producción y de consumo tal y como se acostumbran en la actualidad atentando, así, contra los intereses de diversos grupos y sectores.

Que una gestión ambiental sea necesaria y que, a la larga, redundará en beneficio de todos, incluso de aquellos que hoy la adversan, es una discusión diferente. El hecho es que en su ejecución, sí hay conflictos, en todo caso deberán ser resueltos de manera paulatina utilizando técnicas adecuadas de conciliación y negociación.

A partir de esta consideración y en función de los apoyos con los que cuenta realmente una gestión ambiental gubernamental, es que se puede dimensionar el espacio de acción de una política. Este espacio puede ser tan reducido que apenas permita lo incuestionable hasta tan amplio como el que le puede brindar el empeño concertado de todo un Estado hacia una sociedad sustentable.

El segundo extremo es un paradigma que se debe perseguir y el primero una situación que se debe evitar. En Guatemala, es indudable que nos encontramos más próximos al primero: incluso las normas más elementales de construcción, de procedimiento, de fabricación e incluso de conducir, se ignoran o se evaden y es que con la observancia de esas normas se evitan riesgos ambientales.

Si no se desea el fracaso o limitar la gestión ambiental a lo estrictamente necesario, con lo cual se estaría desprestigiando un movimiento y una idea que tarde o temprano deberá adoptarse como estrategia para la supervivencia del

país, es indispensable contar desde un principio con un sólido, decidido y explícito apoyo de las más altas autoridades del Ejecutivo. Si esto no es así, la gestión ambiental formal, gubernamental, se quedará en la dimensión de lo retórico y de lo demagógico, y difícilmente llegará a tener un efecto aceptable.

### **2.3 Función ambiental de los colectores de polvo**

Un colector de polvo tiene como función principal, el manejo adecuado y cuidadoso de diminutas partículas de polvo suspendidas en el aire a consecuencia de actividades y procedimientos de explotación minera a cielo abierto.

Estas actividades y procedimientos de explotación conllevan al levantamiento excesivo de polvo a la atmósfera, lo cual al combinarse con el movimiento de los vientos, afecta la calidad del aire atmosférico y por consiguiente pone en riesgo la salud de los empleados y pobladores que moran en las cercanías de la región, a causa del aparecimiento de enfermedades respiratorias de gravedad considerable. A su vez, los colectores de polvo ayudan a mantener una atmósfera limpia de cualquier tipo de partículas sólidas, con lo cual se ven favorecidas las especies propias de la región.

Es por dichas razones que los colectores de polvo tienen una marcada función en beneficio del ambiente, principalmente en lo referente a la reducción de la contaminación atmosférica del aire. Desde el punto de vista tecnológico - ambiental, los colectores de polvo son equipos diseñados para garantizar la no evacuación de polvo al ambiente, mientras se efectúa cualquier etapa del proceso de producción minera, ya que cuentan con mecanismos alternativos capaces de atraer, capturar, separar, retener y descargar el polvo contenido en el aire que va a ser devuelto o evacuado a la atmósfera.

### **3. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO**

Dentro de las distintas áreas que abarca el departamento de mantenimiento, se encuentra el área mecánica, el área eléctrica y el área instrumentista, las cuales se complementan para alcanzar los objetivos de mantenimiento establecidos para todo equipo en particular. Dado que un colector de polvo es un equipo mayormente mecánico, se profundizará en dicha área específica.

#### **3.1 Función del departamento de mantenimiento mecánico**

La función del departamento de mantenimiento mecánico, consiste en el aseguramiento y optimización del rendimiento y disponibilidad de los equipos mecánicos. Esto conlleva principalmente a una reducción considerable de los paros de mantenimiento correctivo no programados, lo cual radica en un incremento de los índices de productividad de cualquier empresa o industria en particular. Además, el departamento de mantenimiento mecánico tiene la responsabilidad de velar por el adecuado funcionamiento de los sistemas de agua, aire comprimido y vapor. Estos servicios son esenciales para la realización y consecución de cada una de las actividades diarias que se realizan dentro de cualquier tipo de empresa o industria.

##### **3.1.1 Visión y misión del departamento de mantenimiento mecánico**

**Visión:** Hacer del mantenimiento la herramienta destinada para asegurar y optimizar la disponibilidad, funcionamiento y rendimiento de cada uno de los equipos que intervienen en cada una de las etapas del proceso productivo. Y

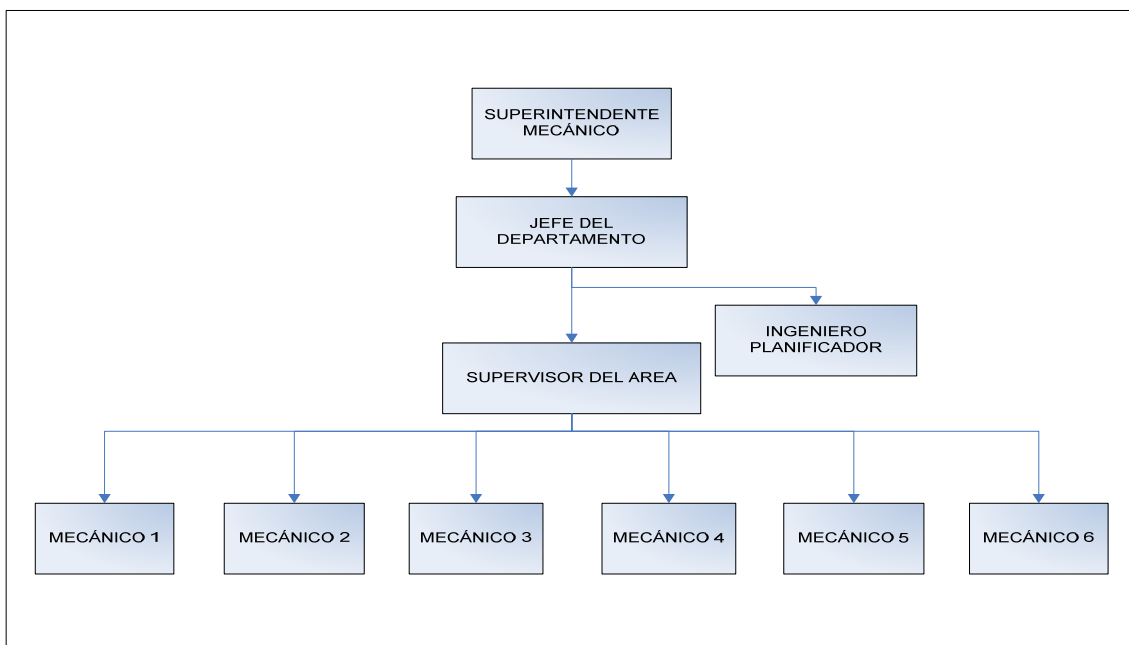
así lograr una mayor rentabilidad económica a través de la reducción de los paros no programados de maquinaria.

**Misión:** Ser el departamento responsable de la planificación, ejecución y control de cada una de las actividades contenidas en los planes de mantenimiento predictivo y preventivo. Evaluar los resultados obtenidos en términos de disponibilidad y rendimiento para cada uno de los equipos de las diferentes áreas productivas y así proponer mejoras sustanciales con respecto a la reducción de las distintas fallas y / o averías.

### 3.1.2 Estructura del departamento de mantenimiento mecánico

La estructura del departamento de mantenimiento mecánico esta definida de la siguiente manera:

**Figura 5. Estructura del departamento de mantenimiento mecánico**



Fuente: Datos recabados en la investigación de campo

### **3.1.2.1 Superintendente mecánico**

Es la persona encargada de coordinar las actividades mecánicas, tomar decisiones de elevada importancia y ser un enlace con la gerencia. Coordina las actividades llevadas a cabo por el jefe del departamento e ingeniero planificador. Además brinda apoyo y asesoría en trabajos de mantenimiento específicos y verifica que los trabajos de mantenimiento efectuados se ejecuten adecuadamente.

### **3.1.2.2 Jefe del departamento**

Es el encargado de revisar y corregir la prioridad de las actividades programadas por el ingeniero planificador y garantiza la correcta supervisión de su ejecución en campo, verificando que se haga el mantenimiento de acuerdo a los requerimientos del fabricante del equipo específico.

### **3.1.2.3 Ingeniero planificador**

Es la persona que tiene a su cargo la adecuada administración de los planes de mantenimiento y el correcto flujo de información del sistema de gestión. Visualiza en SAP R / 3 los avisos y establece prioridades para programación de los mismos (mantenimientos futuros: predictivos, preventivos y correctivos). Administra las órdenes de trabajo generadas para mantenimiento y supervisa su respectiva retroalimentación dentro del paquete de computación SAP R / 3.

### **3.1.2.4 Supervisor del área**

Es la persona encargada de supervisar a los responsables de realizar el mantenimiento, en las labores que les han sido asignadas por medio de órdenes de trabajo. Recibe las órdenes de trabajo terminadas, aprobando los trabajos llevados a cabo.

### **3.1.2.5 Responsable de realizar el mantenimiento**

Son los mecánicos del departamento, los cuales tienen la responsabilidad de ejecutar las labores de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo. Estas actividades de mantenimiento están enfocadas principalmente a la conservación del rendimiento y disponibilidad de la maquinaria y equipos.

## **3.2 Tipos de mantenimiento**

Los tipos de mantenimiento que se realizan dentro de la industria dedicada al proceso de producción minera en seco son los siguientes:

### **3.2.1 Mantenimiento preventivo**

Actividad desarrollada en la maquinaria y equipos críticos en planta, con el fin de asegurar que la calidad de servicio que estos proporcionan permanezca dentro de los límites requeridos de disponibilidad.

Los diferentes grupos de trabajo ejecutan el mantenimiento bajo la tutela del supervisor del área y reportan los resultados a mano en la misma orden de trabajo entregada con anterioridad. Después de ejecutados los trabajos, el responsable de realizar el mantenimiento entrega la(s) orden(es) de trabajo al supervisor del área, quien revisa la ejecución correcta y total de los trabajos programados y los aprueba.

Si no se realizaron todas las actividades programadas, el supervisor del área investiga la razón y solicita al ingeniero planificador la reprogramación de las mismas, esta reprogramación aparecerá reflejada en el plan diario/semanal o en el plan de mantenimiento preventivo programado en SAP R/3.



Si se realiza un mantenimiento preventivo a un dispositivo de medición y monitoreo que afecta las características metrológicas del equipo, se avisa al jefe del departamento / asistente de mantenimiento del área a la que pertenece, quien a su vez, avisa al responsable, para que lo calibre o verifique, según el procedimiento establecido para el mantenimiento.

### **3.2.1.1 Mantenimiento predictivo**

Este tipo de mantenimiento tiene la responsabilidad de monitorear la condición del equipo crítico de planta y proporcionar información del estado de los mismos a las diferentes áreas productivas y de apoyo. Consta de cuatro etapas primordiales:

- **Detección:** involucra el monitoreo periódico de las características de operación de los equipos. Los datos son graficados para verificar algún cambio respecto a los parámetros definidos, evaluando así la tendencia. Si un cambio es detectado, datos adicionales son tomados para propósito de análisis.
- **Análisis:** Este proceso involucra la toma de datos adicionales y determinar la causa del problema.
- **Corrección:** Consiste en corregir y eliminar el problema que ha sido analizado anteriormente.
- **Verificación:** Una vez terminada la fase de corrección se procede a verificar contra los parámetros definidos.

El jefe del departamento, en colaboración con el mecánico de mantenimiento predictivo, define las rutinas y frecuencias de inspección. Estas últimas se definen de acuerdo a los siguientes criterios:

- Sugerencias del fabricante
- Manuales del equipo
- Experiencias con equipos similares
- Problemas encontrados en la operación de los equipos
- Sugerencia de apoyo técnico externo

Las actividades comunes de mantenimiento predictivo que se realizan a los equipos, son las siguientes:

- Análisis de vibraciones
- Verificación de temperaturas en puntos clave o específicos de cada equipo
- Termografías
- Análisis de muestras de aceite
- Luz estroboscópica

### **3.2.2 Mantenimiento correctivo**

Actividad desarrollada en las máquinas y equipos críticos en planta, cuando a consecuencia de una falla han dejado de prestar la calidad de servicio para la que fueron diseñadas.

Al momento de presentarse una falla en un equipo crítico que supone la pérdida de la calidad de servicio que este presta, la indicación aparece inmediatamente en el cuarto de mandos. Dicha indicación aparece cuando se

detecta una falla en el funcionamiento del equipo o porque otro equipo que depende del primero ve afectado su propio funcionamiento.

En cualquiera de los casos, el responsable de operar ese equipo desde el cuarto de mandos solicitará al supervisor mecánico de turno, al electricista de turno (si es un problema de índole eléctrica) o al instrumentista de turno (si es un problema de índole instrumentista) que revise en campo el equipo, de tal forma que se pueda establecer realmente cual es el problema que se presenta en el mismo.

El supervisor mecánico, electricista y/o instrumentista analiza el problema y retroalimenta al operador del equipo y/o al jefe de turno con la información recopilada. Si se trata de una falla que requiere uno o varios trabajos sencillos, el supervisor (y su grupo), electricista o instrumentista de turno la corrigen sin necesidad de una orden de trabajo y dejando evidencia en el reporte de actividades de turno.

De considerarlo oportuno, el jefe de turno se presenta en el lugar y chequea en campo lo afirmado por el supervisor, electricista o instrumentista. Si el problema o falla es grave, el jefe de turno, supervisor o responsable de mantenimiento solicita el apoyo, según considere de:

- Ingeniero de mantenimiento de turno (en el caso de los turnos de llamada).
- Jefe / asistente de mantenimiento específico (mecánico, del área a la que pertenece el equipo, eléctrico o instrumentación), si se trata de un turno diurno.
- Superintendente de taller respectivo para determinar las actividades a llevar a cabo en el equipo.

### **3.3 Actualidad del mantenimiento preventivo del sistema de colectores de polvo**

Dentro de las industrias que llevan a cabo procesos de producción minera en seco, en lo referente a planes de mantenimiento preventivo, se ha tenido un estancamiento prolongado en cuanto al proceso de elaboración de los mismos. Esto se debe fundamentalmente a causas tales como ascensos muy periódicos de los ingenieros encargados de su elaboración o la entrega tardía, de parte de los departamentos auxiliares, de la información eléctrica e instrumentista necesaria para la complementación de dichos planes de mantenimiento preventivo.

El sistema de colectores de polvo, no es la excepción en cuanto a la falta de un plan de mantenimiento preventivo que lo rija. Ya que este último, es básico para brindar a los colectores de polvo una frecuencia de mantenimiento ordenada, planificada, controlada y evaluada en el tiempo.

Por las anteriores razones, es necesaria la elaboración pronta e inmediata de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo. Este plan de mantenimiento preventivo estará orientado a la reducción de fallas y/o problemas que alteren el buen funcionamiento de cada uno de los colectores de polvo.

#### **3.3.1 Inspecciones en marcha**

En el afán de reducir las horas hombre invertidas en actividades de mantenimiento preventivo innecesarias (dado que el equipo revisado no presentó ningún tipo de falla o problema), se han implementado las inspecciones en marcha en cada uno de los equipos mecánicos que componen

la planta. Estas inspecciones en marcha tienen la responsabilidad de monitorear los principales parámetros que afectan el funcionamiento de un determinado equipo mecánico en particular.

Los resultados de estas inspecciones en marcha, brindan a los encargados del departamento de mantenimiento mecánico, una visión general de la condición actual del equipo monitoreado y les dan la pauta para tomar las medidas correctivas correspondientes al caso.

Las inspecciones en marcha que se realizan dentro de la planta de producción minera en seco son de carácter predictivo y se clasifican de la siguiente manera:

#### **3.3.1.1 Termografías**

A este tipo de análisis también se le conoce con el nombre de análisis infrarrojo. Esta es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión.

Este tipo de inspección se utiliza principalmente para la medición de la energía radiante emitida por los distintos componentes de un colector de polvo, tales como paneles eléctricos, los cuales controlan el funcionamiento de los colectores de polvo, motores eléctricos de tipo jaula de ardilla, sistemas de transmisión de potencia tales como poleas, reductores de discos o engranes, ejes y sprockets, así como para los impulsores, cojinetes y chumaceras de los ventiladores de tiro inducido o forzado según sea el caso.

La gran mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial, ya sea de tipo mecánico, eléctrico, instrumentación o de fabricación, están precedidos

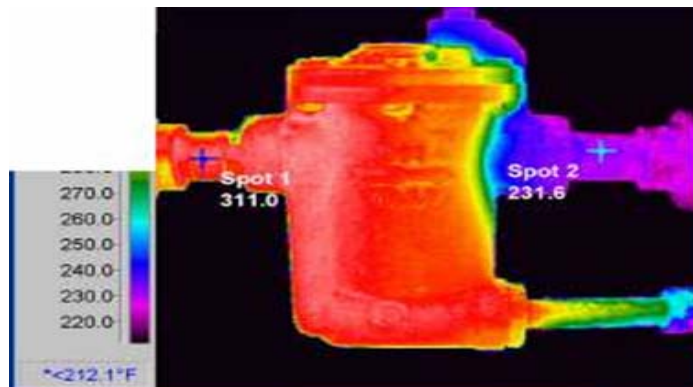
por cambios de temperatura. Estos cambios pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistemas termográficos por infrarrojos.

Con la implementación de programas de inspecciones termográficas en instalaciones, maquinaria, paneles eléctricos, etc, es posible minimizar el riesgo de una falla de equipos y sus consecuencias, a la vez que también ofrece una herramienta para el control de calidad de las reparaciones efectuadas.

Las ventajas que ofrecen las termografías, al monitoreo de la condición de los colectores de polvo, son las siguientes:

- Baja peligrosidad de la labor del mecánico por evitar la necesidad de contacto con el equipo analizado.
- Determinación exacta de las partes más afectadas o con mayor probabilidad de falla en un colector de polvo.
- Reducción del tiempo de reparación por la localización precisa de la parte afectada.
- Facilidad para la elaboración de informes muy precisos, por parte del departamento de mantenimiento mecánico, en relación a la condición actual que presentan los colectores de polvo.

**Figura 6. Termografía aplicada al motor de un colector de polvo**



Fuente: Enciclopedia de Mantenimiento Industrial. Garza, Fernando. Tomo 4.

### **3.3.1.2 Análisis de vibraciones**

Los colectores de polvo en general son unidades complejas que se componen de elementos rotativos (ejes, poleas, fajas, impulsores y motores), y estacionarios (tobería, chumaceras, carcaza, válvulas, distribuidor de aire comprimido y guardas de seguridad). Cuando un colector de polvo esta en operación, las partes en movimiento crean fuerzas dinámicas que se traducen en vibraciones mecánicas tanto para las mismas como para las partes estacionarias.

Esto significa que la vibración mecánica es una situación común en las máquinas, pero existen para ello, niveles de vibración mecánica permisibles, dados por el fabricante o por medio de normas tales como las ISO.

Uno de los propósitos en los sistemas de mantenimiento predictivo, es fomentar la idea que para la vibración mecánica y su análisis, existen formas factibles para encontrar soluciones prácticas a los problemas de vibración excesiva, y con ello corregir y evitar fallas severas en las máquinas.

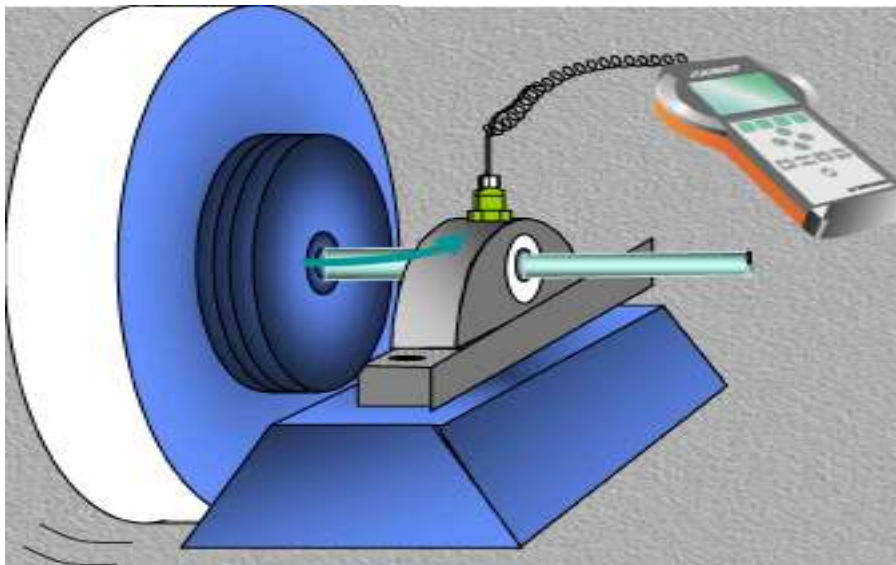
El análisis de vibraciones, en los colectores de polvo, se utiliza para medir el nivel de vibración en los mismos y analizar su patrón de frecuencias, además permite detectar problemas en sus componentes estacionarios y dinámicos, y así poder actuar antes de que una ocurra falla o avería.

Los beneficios del análisis de vibraciones, aplicado en los colectores de polvo, se pueden resumir de la siguiente manera:

- Reducción del desgaste ocasionado en los cojinetes y chumaceras a consecuencia de una excesiva vibración mecánica.

- Reducción de la fatiga estructural de los ejes que conectan los diversos mecanismos de transmisión de potencia con los componentes del colector de polvo a operar.
- Incremento de la eficiencia y eficacia de los colectores de polvo, a través del mantenimiento preventivo anticipado hacia las partes con probabilidad de falla.
- Menor fatiga en los operadores y mecánicos de la planta, mediante la reducción del ruido producido por la vibración mecánica de los componentes del colector de polvo.

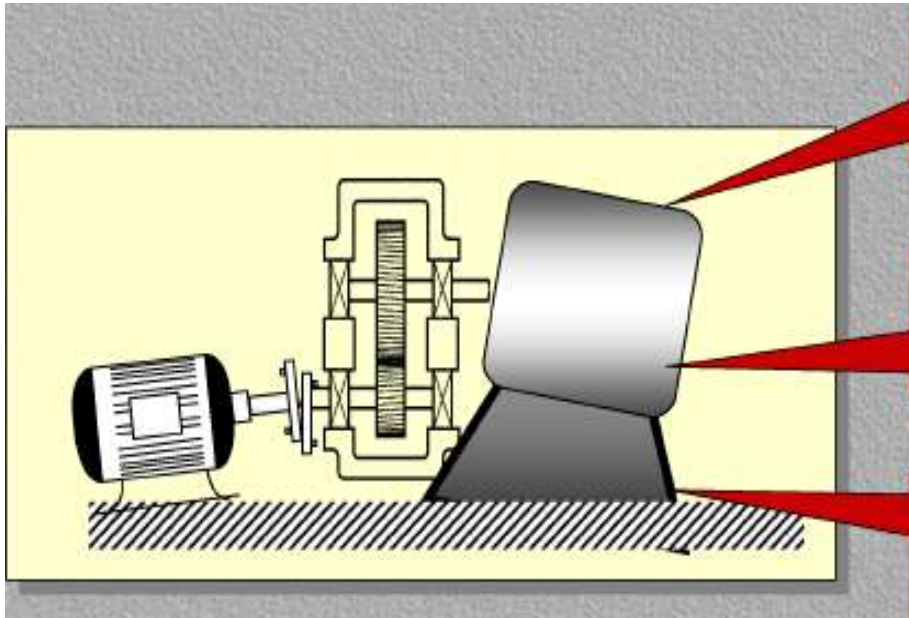
**Figura 7. Forma correcta de medir la vibración en una chumacera**



Fuente: Enciclopedia de Mantenimiento Industrial. Garza, Fernando. Tomo 4.



**Figura 8. Falla ocasionada en los ejes de transmisión de potencia entre un motor y un reductor**



Fuente: Enciclopedia de Mantenimiento Industrial. Garza, Fernando. Tomo 4.

### **3.3.1.3 Mediciones de temperatura**

Este tipo de inspección en marcha se caracteriza por el uso de un termómetro digital con luz infrarroja, el cual mide las distintas temperaturas que tienen los componentes de un colector de polvo.

Los componentes o equipos del colector de polvo, en los cuales se realiza este tipo de inspección en marcha son los siguientes:

- Motor eléctrico tipo jaula de ardilla: En este equipo se realiza la medición de temperatura debido a que este es un parámetro que indica si el motor tiene un contenido de grasa muy alto lo cual repercute en un movimiento forzado

y acelerado por parte del rotor con respecto al estator. Esto último puede causar que el motor se queme a consecuencia de un corto circuito.

- Reductor: En este equipo se realiza la medición de temperatura a fin de establecer si la viscosidad del aceite lubricante es la indicada para disminuir el desgaste ocasionado por el contacto entre los discos o engranes según sea el tipo.
- Ventilador: En este equipo se realiza la medición de temperatura, principalmente en el eje del rotor, debido a que este es un componente sumamente sensible a cualquier desalineación, lo cual repercute en un incremento de la fricción entre dicho eje y su respectivo buje. Esto último conlleva a un aumento considerable de la temperatura en esta zona.

Luego de que las temperaturas han sido medidas, estas son descargadas en un medio visual electrónico para graficar los datos recabados, analizar las tendencias representativas de cada equipo y proponer soluciones para mejorarlas según sea el caso.

**Figura 9. Mediciones de temperatura a través de un termómetro digital**



Fuente: Enciclopedia de Mantenimiento Industrial. Garza, Fernando. Tomo 4.

#### **3.3.1.4 Luz estroboscópica**

Como parte de las inspecciones en marcha, se utiliza la luz estroboscópica, la cual basa su funcionamiento en el principio del estroboscopio, el cual se detalla a continuación:

El estroboscopio es un dispositivo que permite ver un objeto que gira u oscila como si estuviera en reposo. El tipo más sencillo de estroboscopio es un disco giratorio que tiene en su periferia ranuras u orificios a través de los cuales el observador puede ver el objeto. La velocidad de rotación del disco puede variarse para sincronizarla con la del objeto, de forma que éste se encuentre en la misma posición cada vez que pasa una ranura delante del ojo del observador.

Los estroboscopios actuales no utilizan ya el disco giratorio, sino que cuentan con una fuente de luz que proporciona destellos breves a la misma velocidad que el objeto en movimiento. Estos tipos de lámparas son las utilizadas dentro del departamento de mantenimiento mecánico, para inspeccionar en marcha los componentes del colector de polvo que apliquen para dicho procedimiento.

La luz estroboscópica se utiliza para el mantenimiento de los colectores de polvo, en lo referente a la inspección en marcha de los mecanismos de transmisión de potencia indirecta tales como fajas y cadenas, ya que permite determinar si estos poseen un grado de desgaste que haga necesario su reemplazo inmediatamente y así evitar la ocurrencia de un paro no programado del colector de polvo.

### 3.3.1.5 Muestra de aceite

La muestra de aceite se utiliza para analizar el estado del aceite contenido en los reductores de los colectores de polvo, ya que este contiene partículas metálicas provenientes del desgaste de las diferentes piezas que componen el reductor. Los análisis de aceites, determinan exactamente, los distintos elementos metálicos presentes en el aceite y así poder tomar las medidas preventivas o correctivas dependiendo del caso. Los análisis de aceite se clasifican dependiendo de la necesidad, en:

- A) Análisis iniciales: Se realizan a aceites contenidos en equipos que presentan dudas provenientes de los resultados del estudio de lubricación y permiten, a través de los resultados obtenidos, realizar correcciones en la selección del aceite, motivadas por cambios en las condiciones de operación del equipo.
  
- B) Análisis rutinarios: Estos aplican para equipos considerados como críticos o de gran capacidad, en los cuales se define una frecuencia de muestreo, siendo el objetivo principal de los análisis la determinación del estado del aceite, nivel de desgaste y contaminación entre otros.
  
- C) Análisis de emergencia: Estos se efectúan para detectar cualquier anomalía en el equipo y/o en el lubricante, según:
  - Contaminación con agua.
  - Sólidos (filtros y sellos defectuosos).
  - Uso de un producto inadecuado.

**Figura 10. Muestras de aceite de los reductores de los colectores de polvo**



Fuente: Enciclopedia de Mantenimiento Industrial. Garza, Fernando. Tomo 4.

### 3.3.2 Elaboración de avisos y reportes de las inspecciones en marcha

Luego de la realización de las inspecciones en marcha, por parte de los mecánicos predictivos, se procede a analizar los resultados obtenidos de dichas inspecciones en marcha y a elaborar las actividades que se detallan a continuación:

**A) Elaboración de avisos:** Actividad que consiste en la colocación, en el paquete de computación SAP R / 3, de un breve resumen de la condición actual que presenta un determinado equipo perteneciente a un área en particular. Dichos avisos son cargados al puesto de trabajo correspondiente para que el ingeniero planificador los visualice y tome una decisión en cuanto a la fecha en que estos serán atendidos, planificados y ejecutados por el personal de mantenimiento mecánico.

**B) Elaboración de reportes:** Actividad realizada por los mecánicos predictivos, consistente en la realización de una descripción detallada y concisa de los resultados obtenidos al finalizar la inspección en marcha para un determinado equipo mecánico en particular. Estos reportes se realizan con la finalidad de mantener un historial cronológico de las condiciones y el estado en que se encuentran los principales parámetros que intervienen y/o influyen en el funcionamiento de un equipo mecánico en particular.

### **3.3.3 Proceso de corrección de fallas**

Este proceso surge a consecuencia de los indicios y/o problemas encontrados en un determinado equipo mecánico, gracias a las inspecciones en marcha realizadas con antelación. El proceso de corrección de fallas contempla desde la planificación de los avisos correctivos hasta la asignación de las órdenes de trabajo a los responsables de llevar a cabo las actividades de mantenimiento correctivo.

#### **3.3.3.1 Planificación de los avisos correctivos**

Como se dijo con anterioridad, la planificación de los avisos correctivos esta a cargo del ingeniero planificador, el cual debe aplicar su criterio para decidir la cantidad de avisos que pueden ser atendidos o deben serlo por la importancia que estos manejan en la estabilidad y continuidad del proceso de producción que se trate.

El ingeniero planificador también analiza sus decisiones, en lo referente a la realización de avisos correctivos, en base a la capacidad de horas – hombre que tenga a su disposición para una determinada fecha en particular. Esto es debido a que dentro del ámbito del montaje y mantenimiento de equipo, muchas veces se tienen paros programados para fechas previamente estipuladas.

Luego de que se ha decidido que avisos se van a realizar, el ingeniero planificador los anota en el plan diario semanal y luego de completar dicho plan, lo remite al asistente de control de mantenimiento (persona que no pertenece directamente al departamento de mantenimiento mecánico) para que proceda a elaborar las ordenes de trabajo correspondientes.

### **3.3.3.2 Elaboración de órdenes de trabajo**

Cuando el asistente administrativo tiene en su poder el plan diario semanal, procede a la realización manual, en SAP R / 3, de las órdenes de trabajo correspondientes para cada una de las actividades contenidas en dicho plan. Este proceso es necesario únicamente para actividades de mantenimiento correctivo que por su naturaleza variable no pueden ser planificadas bajo una frecuencia establecida y para aquellas actividades de mantenimiento preventivo que no están contempladas o contenidas en una simulación de un plan de mantenimiento preventivo en SAP R / 3.

Lo ideal es que todas las actividades de mantenimiento preventivo se encuentren contenidas en una simulación de un plan de mantenimiento preventivo en SAP R / 3, ya que al darle corrimiento a cualquier simulación de este tipo, automáticamente se generan las órdenes de trabajo sin ningún tipo de complicación.

### **3.3.3.3 Asignación de las órdenes de trabajo**

Ya que se tienen las órdenes de trabajo listas, el ingeniero planificador en compañía del supervisor del área proceden a repartirlas entre las personas responsables de realizar el mantenimiento. Para la repartición, se toman en cuenta los siguientes aspectos:

- Las habilidades que presentan cada uno de los mecánicos.
- El grado de dificultad que presenta la actividad de mantenimiento a realizar.



## **4. PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO**

### **4.1 Elaboración del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo**

Debido a que dentro del proceso de producción minera en seco, el sistema de colectores de polvo no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo, se propone la idea de desarrollar e implementar uno para dicho sistema de colectores de polvo. Esta propuesta se fundamenta en la necesidad de lograr con el mínimo coste, el mayor tiempo en servicio de los colectores de polvo, con el fin de conseguir la máxima disponibilidad, aportando mayor productividad y calidad al producto a través de una máxima seguridad de funcionamiento.

Un plan de mantenimiento preventivo es un documento técnicamente elaborado, cuya función es la de planificar, ordenar, administrar, ejecutar y controlar cada una de las actividades de mantenimiento preventivo. Estas actividades de mantenimiento preventivo deben estar contenidas dentro de la estructura del plan y orientadas a la atención del conjunto de equipos a los cuales va dirigido.

La propuesta consiste en la elaboración de un documento de Microsoft Excel, en el cual se incluyen todos los parámetros y aspectos necesarios para la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo. Los parámetros y aspectos a considerar son los siguientes:

- Ubicación técnica: Este aspecto orienta al ingeniero planificador, supervisor del área y al responsable de realizar el mantenimiento en lo referente a la ubicación exacta del colector de polvo. Este aspecto es fundamental debido a que muchas veces las actividades se atrasan a consecuencia de la búsqueda del equipo al cual se le hará el mantenimiento preventivo.
- Código del equipo: En este aspecto del plan, se indica el código del equipo al cual irán dirigidas las actividades de mantenimiento preventivo. También se utiliza para llevar un control histórico de las actividades de mantenimiento preventivo realizadas a un determinado equipo.
- Denominación de objeto técnico: No es más que la descripción del código del equipo al cual va dirigido el mantenimiento preventivo.
- Frecuencia de mantenimiento: Es la periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo con las que se va a atender a un colector de polvo y / o sus equipos correspondientes. La frecuencia de mantenimiento para los colectores de polvo está determinada por varios factores que deben tomarse en consideración:
  - Costo de las actividades de mantenimiento preventivo.
  - Incidencia directa en los niveles de producción de la planta.
  - Disponibilidad de tiempo para poder hacer las actividades de mantenimiento preventivo.
  - Mano de obra disponible para realizar las actividades de mantenimiento preventivo sin descuidar los demás equipos.
  - Concientización de la alta gerencia para apoyar las actividades de mantenimiento preventivo según planificación.

- Número de personas necesarias por actividad: Es el número de personas que se necesitan para realizar de manera eficiente una determinada actividad de mantenimiento para los colectores de polvo. Aquí se busca una combinación óptima entre asignación adecuada del recurso humano y el costo generado por la utilización de dicha mano de obra.
- Tiempos de duración de la actividad: Consiste en el correcto establecimiento de los tiempos estándares propios para cada actividad de mantenimiento preventivo de los colectores de polvo. Todo esto con la finalidad de determinar si el plan de mantenimiento preventivo puede ser cubierto con recurso humano propio de la planta o si será necesario la subcontratación de personal.
- Puesto de trabajo: Este aspecto no es más que un código asignado a una determinada área de la planta y que debe detallarse dentro del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, por la sencilla razón de que el costo de todas las actividades del plan debe ir cargado al área que fue beneficiada con las mismas.

Como parte fundamental de la propuesta, se planifica a través del tiempo, todas y cada una de las actividades integrantes del plan de mantenimiento preventivo, por medio de la elaboración de un diagrama de Gantt.

El diagrama de Gantt es una herramienta de planeación y administración, que tiene el objetivo de planificar y ordenar a través del tiempo un conjunto limitado de actividades. Esto beneficia principalmente al ingeniero planificador en muchos aspectos, los cuales se detallan a continuación:

- Mejora en la administración de la disponibilidad de horas hombre necesarias para efectuar actividades de mantenimiento para una fecha específica.
- Aumento de los índices de cumplimiento de las actividades de mantenimiento preventivo programadas, gracias a la optimización del aprovechamiento del recurso humano disponible.
- Mayor tiempo de respuesta, en lo referente a la subcontratación de personal externo para determinadas fechas de mantenimiento específicas. Esto a consecuencia de que muchas veces se tienen programados paros de mantenimiento anuales que no pueden ser reprogramados.

#### **4.1.1 Inventario físico de los equipos que componen el sistema de colectores de polvo**

Con el objeto de elaborar un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, se debe hacer un inventario general del total de colectores de polvo existentes en la planta y así tener una noción general sobre el número de colectores de polvo a los cuales se enfoca el plan de mantenimiento preventivo.

Para optimizar el tiempo de ejecución del inventario y minimizar el tiempo de búsqueda de cada uno de los colectores de polvo, se hace uso de los diagramas mecánicos y planos de la planta. Estos diagramas y planos presentan vistas laterales, frontales y aéreas que muestran la ubicación exacta (ubicación técnica) de cada uno de los colectores de polvo.

Examinando los planos de los colectores de polvo de la planta, se organizan rutinas de inspección, en las cuales se divide el total de colectores de polvo en grupos de 10, los cuales son buscados, identificados e inventariados a lo largo de cada semana.

Con la aprobación del inventario de los colectores de polvo, por parte del supervisor del área, se procede a brindar una copia al ingeniero planificador y al jefe del departamento de mantenimiento mecánico para que sea de su conocimiento y así proceder a la etapa de ingreso de los colectores de polvo inventariados al plan de mantenimiento preventivo.

#### **4.1.2 Comparación entre el inventario físico y el inventario existente en SAP R / 3**

Esta etapa del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo se enfoca directamente a los rubros de revisión y comprobación entre el inventario realizado en planta y el contenido en SAP R / 3. Fundamentalmente se revisa a detalle que a cada uno de los colectores de polvo le estén cargados sus equipos correspondientes y así automáticamente se actualiza el inventario de los colectores de polvo del sistema SAP R / 3.

En el proceso de revisión citado anteriormente, pueden darse dos situaciones, las cuales deben solucionarse previamente antes de continuar con el avance del proyecto:

- El colector de polvo y / o equipo correspondiente aparece en el inventario físico de la planta, pero no aparece en el inventario de SAP R / 3: Cuando esta situación sucede, inmediatamente se procede a dar aviso al asistente de control de mantenimiento para que actualice el inventario de SAP R / 3.

- El colector de polvo y / o equipo correspondiente aparece en el inventario de SAP R / 3 pero no en el inventario físico de la planta: Cuando esta situación sucede, inmediatamente se procede a dar aviso al asistente de control de mantenimiento para que actualice el inventario de SAP R / 3.

Para fundamentar las observaciones al asistente de control de mantenimiento, se le muestra el inventario físico aprobado por el supervisor del área. Posteriormente, el asistente de control de mantenimiento carga o descarga el colector de polvo y / o equipo faltante en SAP R / 3.

#### **4.1.3 Determinación de las frecuencias de mantenimiento**

Para determinar las frecuencias de mantenimiento de los equipos que integran a los colectores de polvo, se sigue el siguiente procedimiento: Consultar fuentes de información primarias y secundarias, sintetizar los criterios más importantes de cada fuente y unificarlos y tomar una decisión sobre la frecuencia de mantenimiento a establecer. Entre las fuentes de información a utilizar, destacan las siguientes:

- Manuales de operación y mantenimiento de los colectores de polvo y sus equipos: Este tipo de documentos técnicamente elaborados, son la base primordial para el establecimiento de cualquier frecuencia de mantenimiento preventivo; ya que contienen datos y recomendaciones del fabricante sustentadas en pruebas específicas realizadas en el equipo.
- Historial de reparaciones de los colectores de polvo y sus equipos: Este tipo de documentación se consulta para visualizar la tendencia que ha tenido el equipo con relación al apareamiento de fallas y averías en el mismo. Con esta información se puede establecer la frecuencia de mantenimiento de un

equipo basada en datos reales de operación, los cuales han sido recabados en el área de trabajo y bajo las condiciones del lugar.

- Existencia de colectores de polvo similares y / o auxiliares para un mismo propósito: Algunos colectores de polvo son más importantes que otros con respecto a la incidencia directa que tienen en la producción de una planta. Por tal motivo, a cada uno de ellos se les asigna una frecuencia de mantenimiento distinta, tomando en cuenta criterios tales como existencia de equipos similares, tiempo disponible para el mantenimiento y costo de las reparaciones.
- Portales electrónicos del proveedor del equipo: Este tipo de consulta es necesaria cuando ciertos datos de importancia para el establecimiento de la frecuencia, no estén documentados en el manual del colector de polvo y / o se requiera información mas actualizada con respecto al funcionamiento y / o mantenimiento del mismo.
- Monitoreos de condición (Inspecciones V.O.S.O. o en Marcha): Por las observaciones realizadas a cada uno de los colectores de polvo, mediante rutinas de monitoreo de condición, se tiene una idea general de las condiciones que presenta un determinado equipo cada cierto tiempo y con esa información se le establece la frecuencia de mantenimiento apropiada.

Las frecuencias de mantenimiento establecidas para cada una de las actividades contempladas dentro de la estructura del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, son las siguientes:

- Monitoreo de condición (Inspecciones V.O.S.O. o en Marcha): Semanalmente.
- Mantenimiento preventivo mecánico (Cambio de bolsas, Tubos Venturi, Limpieza de carcaza, Ventilador, Gusano y Compuerta): Trimestralmente.
- Mantenimiento preventivo eléctrico (Motores eléctricos): Anualmente.
- Mantenimiento preventivo instrumentista (Sensores, Paneles Eléctricos, *Timer* y Neumática): Anualmente.

Con las frecuencias de mantenimiento establecidas para cada colector de polvo y sus equipos correspondientes, se procede al establecimiento de los tiempos reales y cantidad de personas necesarias para cada actividad de mantenimiento preventivo.

#### **4.1.4 Fijación de los tiempos de duración y número de personas necesarias para cada actividad**

Luego de establecer las frecuencias de mantenimiento para cada uno de los colectores de polvo, se continúa con el establecimiento de los tiempos reales y cantidad de personas necesarias para cada una de las actividades contenidas en el plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo.

Para establecer y estandarizar los tiempos de duración y el número de necesario de personas para realizar cada una de las actividades de mantenimiento preventivo a los colectores de polvo, se pueden buscar tiempos estándar a partir del siguiente proceso:



- Órdenes de trabajo anteriores: Evaluar el tiempo de duración registrado para cada una de las actividades de mantenimiento preventivo de los colectores de polvo. Estos tiempos brindan una idea general aproximada de la duración del trabajo y pueden tomarse como puntos de partida para el establecimiento de un tiempo estándar.
- Diagramas de flujo del proceso: Herramienta necesaria para el análisis de los puntos y áreas de mejora del método actual de trabajo utilizado para realizar las actividades de mantenimiento preventivo en los colectores de polvo y equipos correspondientes. Ya realizadas las mejoras al método, se procede con el estudio de tiempos correspondiente.
- Estudio de tiempos: Por la naturaleza de las actividades de mantenimiento preventivo y las condiciones imperantes en el área de trabajo, el método que se ajusta de mejor manera a la necesidad de establecer un tiempo estándar, es el método de regreso a cero.

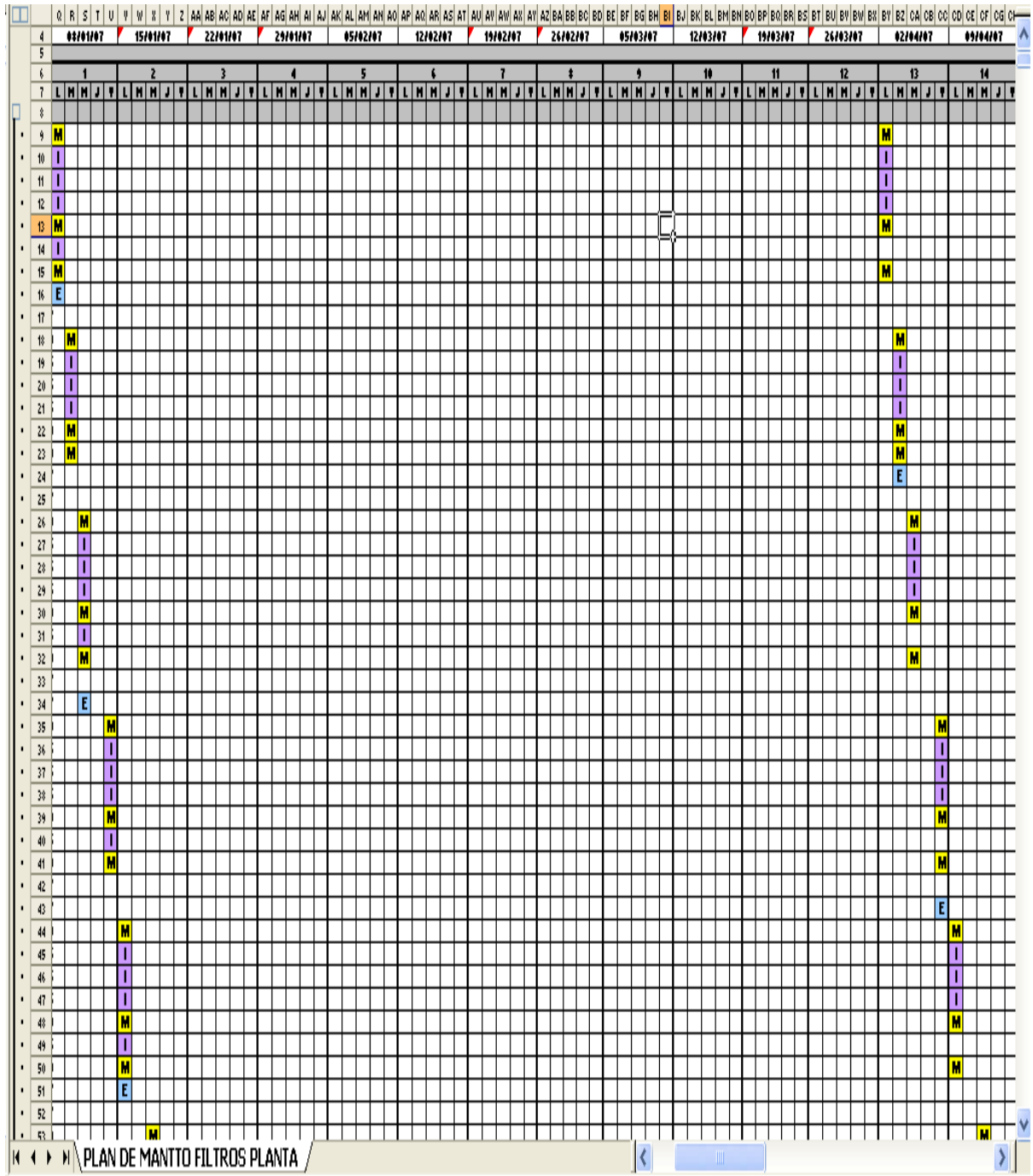
Por último, se deben elaborar procedimientos de trabajo para cada una de las actividades de mantenimiento preventivo, ya que estos ayudarán a los responsables de realizar el mantenimiento a finalizar el trabajo requerido en el tiempo establecido para ello. Estos procedimientos se tratarán en el próximo capítulo debido a que son parte fundamental de la implementación del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo.

**Figura 11. Plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, elaborado en Microsoft Excel**

|    |   |   |        | NOMBRE DEL DOCUMENTO |   | PLAN DE MANTENIMIENTO PRE |           |             |           |            |            |
|----|---|---|--------|----------------------|---|---------------------------|-----------|-------------|-----------|------------|------------|
|    |   |   |        | Area:                |   |                           |           |             |           |            |            |
| M  | E | I | Codigo | Equipo               | Denominación de objeto técnico              | Frecuencia                | Hoja Ruta | Grupo HRuta | Pos Manto | Plan Manto | Estrategia |
| 1  | 1 |   |        |                      | UT COLECTOR DE POLVO DEL ELEVADOR #1        | 3 MESES                   | 491       | 1           | 27038     | 3875       | ELINS1     |
| 2  |   | A |        |                      | UT COLECTOR DE POLVO DEL ELEVADOR #1        | 3 MESES                   | 491       | 2           | 27211     | 3875       | ELINS1     |
| 3  |   | 1 |        |                      | UT PANEL DE CONTROL COLECTOR M DE POLVO # 1 | 3 MESES                   | 491       | 2           | 27211     | 3875       | ELINS1     |
| 4  |   | 1 |        |                      | UT SISTEMA DE VALVULAS COLECTOR DE POLVO    | 3 MESES                   | 491       | 2           | 27211     | 3875       | ELINS1     |
| 5  | 1 |   |        |                      | UT COMP. CLAPETA COLECTOR POLVO #1          | 3 MESES                   | 491       | 1           | 27038     | 3875       | ELINS1     |
| 6  |   | 1 |        |                      | UT SENSOR POSICION COMPUERTA DE CLAPETA     | ANUAL                     | 491       | 2           | 27211     | 3875       | ELINS1     |
| 7  | 1 |   |        |                      | UT VENTILADOR DE COLECTOR DE POLVO #1       | 3 MESES                   | 492       | 1           | 27039     | 3875       | ELINS1     |
| 8  |   | 1 |        |                      | UT MOTOR VENT. COLECTOR DE POLVO # 1        | ANUAL                     | 663       | 1           | 27394     | 3875       | ELINS1     |
| 9  |   | A |        |                      | UT MOTOR VENT. COLECTOR DE POLVO # 1        | ANUAL                     | 663       | 1           | 27394     | 3875       | ELINS1     |
| 10 | 1 |   |        |                      | UT FILTRO SUCCION GALERA CLINKER            | 3 MESES                   | 493       | 1           | 27054     | 3875       | ELINS1     |
| 11 |   | A |        |                      | UT FILTRO SUCCION GALERA CLINKER            | 3 MESES                   | 493       | 2           | 27212     | 3875       | ELINS1     |
| 12 |   | 1 |        |                      | UT PANEL DE CTRL.COLECTOR SUCCION GALERA    | 3 MESES                   | 493       | 2           | 27212     | 3875       | ELINS1     |
| 13 |   | 1 |        |                      | UT SISTEMA VALVULAS COLECTOR SUCC.GALERA    | 3 MESES                   | 493       | 2           | 27212     | 3875       | ELINS1     |
| 14 | 1 |   |        |                      | UT COMPUERTA DE CLAPETA COLECTOR SUCC.GALER | 3 MESES                   | 493       | 1           | 27054     | 3875       | ELINS1     |
| 15 | 1 |   |        |                      | UT VENTILADOR COLECTOR SUCCION GALERA CLINK | 3 MESES                   | 494       | 1           | 27055     | 3875       | ELINS1     |
| 16 |   | 1 |        |                      | UT MOTOR VENT.COLECTOR SUCCION GALERA       | ANUAL                     | 664       | 1           | 27438     | 3875       | ELINS1     |
| 17 |   | A |        |                      | UT MOTOR VENT.COLECTOR SUCCION GALERA       | ANUAL                     | 664       | 1           | 27438     | 3875       | ELINS1     |
| 18 | 1 |   |        |                      | UT COLECTOR DE POLVO DEL ELEVADOR           | 3 MESES                   | 495       | 1           | 27056     | 3875       | ELINS1     |
| 19 |   | A |        |                      | UT COLECTOR DE POLVO DEL ELEVADOR           | 3 MESES                   | 495       | 2           | 27213     | 3875       | ELINS1     |
| 20 |   | 1 |        |                      | UT PANEL DE CONTROL COLECTOR DE POLVO       | 3 MESES                   | 495       | 2           | 27213     | 3875       | ELINS1     |
| 21 |   | 1 |        |                      | UT SISTEMA DE 17 VALV.COLECTOR DE POLVO     | 3 MESES                   | 495       | 2           | 27213     | 3875       | ELINS1     |
| 22 | 1 |   |        |                      | UT COMPUERTA DE CLAPETA COLECTOR 513-FT5    | 3 MESES                   | 495       | 1           | 27056     | 3875       | ELINS1     |
| 23 |   | 1 |        |                      | UT SENSOR POSICION COMP. DE CAPLETA         | ANUAL                     | 495       | 2           | 27213     | 3875       | ELINS1     |
| 24 | 1 |   |        |                      | UT VENT. DE COLEC. DE POLVO 513-FT5         | 3 MESES                   | 496       | 1           | 27057     | 3875       | ELINS1     |
| 25 |   | 1 |        |                      | UT MOTOR VEN. COLECTOR DE POLVO             | ANUAL                     | 665       | 1           | 27439     | 3875       | ELINS1     |
| 26 |   | A |        |                      | UT MOTOR VEN. COLECTOR DE POLVO             | ANUAL                     | 665       | 1           | 27439     | 3875       | ELINS1     |
| 27 | 1 |   |        |                      | UT COLECTOR DE POLVO DEL ELEVADOR           | 3 MESES                   | 497       | 1           | 27058     | 3875       | ELINS1     |
| 28 |   | A |        |                      | UT COLECTOR DE POLVO DEL ELEVADOR           | 3 MESES                   | 497       | 2           | 27254     | 3875       | ELINS1     |
| 29 |   | 1 |        |                      | UT PANEL DE CONTROL COLECTOR                | 3 MESES                   | 497       | 2           | 27254     | 3875       | FI INS1    |

Fuente: Desarrollo de planes de mantenimiento preventivo por medio del modulo SAP R / 3. Estuardo Vargas. Pág. 8

**Figura 12. Diagrama de Gantt integrado al plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo**



Fuente: Desarrollo de planes de mantenimiento preventivo por medio del modulo SAP R / 3. Estuardo Vargas. Pág. 9



## **5. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO**

### **5.1 Documentación de los procedimientos de mantenimiento para los equipos mecánicos que componen el sistema de colectores de polvo**

Dado que el objetivo primordial de la consecución del proyecto del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, es la correcta implementación del mismo, se procede a su respectiva documentación. Esta documentación se enfoca primordialmente a los procedimientos de mantenimiento preventivo para los equipos mecánicos que integran la estructura y funcionamiento de un colector de polvo.

Se debe documentar los procedimientos de mantenimiento preventivo mecánico, por las siguientes razones:

- Algunas veces las actividades de mantenimiento preventivo son realizadas por mecánicos de nuevo ingreso o inexpertos en este tipo de equipo, lo cual repercute en que la labor sea más tardada y difícil de realizar.
- La documentación de esta clase de actividades de mantenimiento preventivo mecánico, es necesaria para estandarizar procedimientos similares en equipos que son física y funcionalmente iguales.
- A través de la documentación y posterior estandarización de los procedimientos de mantenimiento preventivo mecánico, es posible el cálculo

de las horas hombre necesarias para realizar dichas actividades de mantenimiento y hacer un estimado del costo que tienen las mismas.

Un aspecto a considerar en la documentación de los diferentes procedimientos de mantenimiento preventivo para un determinado equipo, es la seguridad industrial. A continuación se presenta la normativa de seguridad industrial aplicable a todos los procedimientos de mantenimiento preventivo correspondientes a los diferentes equipos mecánicos.

### **NORMATIVA DE SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL**

Esta rama de la ingeniería es sumamente importante para todo aquel trabajador que desee realizar un trabajo óptimo, eficiente y de una manera segura y confiable; ya que le permite tener una visión, cuantificación y prevención de los riesgos y peligros a los que está expuesto. Debido a que el proceso de producción minera en seco tiene implícitos varios peligros y riesgos dentro de sus operaciones, es importante que se tenga conciencia por el bienestar y seguridad de los trabajadores. A continuación se presenta una serie de actividades que se deben de llevar a cabo cuando se va a comenzar o se está realizando un mantenimiento preventivo mecánico para cualquier equipo mecánico.

1. Solicitar al cuarto de mandos el paro inmediato del equipo al cual se le va a dar el mantenimiento preventivo. Se procederá con dicho mantenimiento hasta que el operador del cuarto de mandos confirme que el equipo está parado y apagado.

2. Solicitar al personal eléctrico, la desactivación inmediata y puesta del candado a la palanca que activa el funcionamiento del equipo al cual se le va a dar el mantenimiento preventivo.
3. Apagar el equipo de forma manual, a través del dispositivo más cercano que se tenga para dicha función.
4. Llevar siempre consigo su respectivo casco, mascarilla y lentes al momento que se vaya a ingresar al equipo; ya que estos son indispensables para evitar cualquier daño físico que pueda ser ocasionado por una mala práctica o falla en los dispositivos de apagado.
5. Y por último, mantener una actitud adecuada durante la realización del trabajo para no distraer a un compañero de labores, lo cual podría repercutir en el apareamiento de un accidente o lesión corporal.

#### **5.1.1 Procedimiento de mantenimiento preventivo para un colector de polvo**

### **PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UN COLECTOR DE POLVO**

**OBJETIVO:** Documentar y estandarizar cada una de las actividades que forman parte del mantenimiento preventivo correspondiente a los colectores de polvo.

**ALCANCE:** Desde que el mecánico responsable de realizar el mantenimiento preventivo recibe la orden de trabajo hasta la terminación de las labores y limpieza del equipo.

**DOCUMENTOS RELACIONADOS:** Manual de mantenimiento de los colectores de polvo ACS Engineering SRL.

**DESARROLLO:**

1. Revisar el sistema de aire comprimido para observar si existen posibles fugas.

Drenar de condensado la tubería. (Se recomienda hacerlo cada 8 horas).

Revisar el estado en que se encuentran las trampas de aire y las de agua, ya que estas garantizan la buena calidad del aire comprimido.

Revisar el estado en que se encuentran los empaques de las válvulas y las válvulas propiamente dichas, ya que estas son responsables de que no hayan caídas de presión.

Revisar todas aquellas piezas de desgaste tales como sellos y abrazaderas.

Avisar al instrumentista para revisión de las válvulas de purga y de control en el filtro.

2. Revisar el estado exterior del filtro.

Examinar visualmente el filtro en forma general, para detectar situaciones anormales.

Revisar el casco exterior, para detectar posibles daños.

Revisar los sellos para evitar las posibles fugas de polvo.

Revisar todos los tornillos del colector de polvo y apretar o reemplazar aquellos que estén flojos o barridos.

Revisar la puerta de entrada, en lo referente a sus bisagras, sellos, empaquetaduras y manijas ajustables.



Revisar que el manómetro tenga un funcionamiento adecuado y que no se encuentre golpeado.

3. Revisar el estado interior del filtro.

Abrir la puerta de entrada, para poder ingresar al interior del colector de polvo.

Buscar las posibles fugas y atoramientos que pueda presentar el colector de polvo.

Desmontar los venturis o tubos que alimentan de aire comprimido a las bolsas.

Revisar los venturis o tubos que alimentan a las bolsas, ya que pueden presentar rajaduras, quebraduras o desgaste en el agujero de descarga de aire, y si es necesario proceda a reemplazarlos.

Revisar los cuellos venturi, ya que pueden presentar desgaste y roturas, y si es necesario proceda a reemplazarlos.

Revisar las bolsas, ya que pueden presentar agujeros y/o desgaste en las costuras. Esto es vital debido a que son las bolsas las encargadas de almacenar el polvo y no permitir su salida a la atmósfera.

4. Revisar las tolvas de descarga de material y ductos de aire.

Revisar la cantidad de material en polvo presente en la tolva y verifique que no exista material pegado.

Revisar las planchas deflectoras, ya que pueden presentar desgaste, roturas y quebraduras en su estructura.

Abrir el compartimiento de descarga y revisar las empaquetaduras del mismo.

Revisar los ductos de aire y verifique que no haya atoramientos de material en polvo dentro de los mismos.

5. Limpieza superficial del exterior e interior del colector de polvo.

Limpia la superficie externa e interna del colector de polvo, por medio de instrumentos tales como espátulas, cepillos de alambre y derivados del petróleo como la kerosina.

### **5.1.2 Procedimiento de mantenimiento preventivo para un gusano**

#### **PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UN GUSANO**

**OBJETIVO:** Documentar y estandarizar cada una de las actividades que forman parte del mantenimiento preventivo correspondiente a los gusanos de transporte.

**ALCANCE:** Desde que el mecánico responsable de realizar el mantenimiento preventivo recibe la orden de trabajo hasta la terminación de las labores y limpieza del equipo.

**DOCUMENTOS RELACIONADOS:** Manual de mantenimiento de los colectores de polvo ACS Engineering SRL.

#### **DESARROLLO:**

1. Realizar el diagnóstico visual respectivo del estado físico del gusano y posterior limpieza del mismo.

Hacer una limpieza profunda (con cepillo de alambre, brocha y kerosina) de la placa que identifica al gusano.

Revisar de manera general el estado físico (golpes, torceduras y hundimientos) que presenta la cubierta del gusano.

Efectuar una limpieza general de los alrededores del gusano para tener mejores condiciones de trabajo.

Revisar que no haya corrosión y fugas excesivas de polvo en la cubierta del gusano.

Proceder a quitar la guarda de seguridad que cubre a las chumaceras del gusano.

2. Realizar el mantenimiento preventivo a la cámara del gusano.

Proceder a desarmar la cámara del gusano para poder visualizar lo que esta en su interior.

Limpiar el gusano de todo aquel material en polvo que dificulte una inspección visual del mismo.

Revisar el estado en que se encuentran los sellos del eje del gusano.

Hacer una inspección visual del estado del gusano (tornillo sinfín), para visualizar posibles quebraduras, incrustaciones y desgaste en el mismo.

Si es prudente, proceder a cambiar el gusano si es que hubiera en existencia o proceder a enviarlo inmediatamente al taller de torno para su posterior maquinado.

3. Proceder a efectuar el mantenimiento preventivo a las chumaceras del eje del gusano.

Revisar el estado en que se encuentran las chumaceras del eje del gusano para identificar posibles rajaduras y/o quebraduras en las mismas.

Verificar que los cojinetes de las chumaceras estén debidamente engrasados y que la grasa aún mantenga sus propiedades lubricantes y refrigerantes al cien por ciento.

Identificar si las chumaceras son del tipo completas o del tipo normales.

Si la chumacera es del tipo completa y tiene dañado su cojinete interno, proceder a cambiarla en su totalidad.

Si la chumacera es del tipo normal, desarmar y revisar el cojinete del lado libre. Procurar fijarse en los siguientes detalles: Deformación en las jaulas que contienen a los baleros, desgaste en las pistas de rodadura a consecuencia de cargas axiales y radiales excesivamente altas, grietas, coloración azul pardo en la estructura del cojinete y sellos en mal estado.

Si el cojinete está dañado, proceder a cambiarlo inmediatamente.

Revisar el estado en que se encuentran los sellos del eje del gusano.

4. Efectuar el mantenimiento preventivo a las vías de descarga de material en polvo.

Revisar los empaques de los ductos de descarga de material en polvo.

Inspeccionar los ductos de descarga de material en polvo para eliminar cualquier tipo de bloqueo en los mismos.

5. Para terminar, realizar la limpieza superficial del exterior e interior del gusano.

### **5.1.3 Procedimiento de mantenimiento preventivo para un ventilador**

#### **PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UN VENTILADOR.**

**OBJETIVO:** Documentar y estandarizar cada una de las actividades que forman parte del mantenimiento preventivo correspondiente a los ventiladores.

**ALCANCE:** Desde que el mecánico responsable de realizar el mantenimiento preventivo recibe la orden de trabajo hasta la terminación de las labores y limpieza del equipo.

**DOCUMENTOS RELACIONADOS:** Manual de mantenimiento de los colectores de polvo ACS Engineering SRL.

**DESARROLLO:**

1. Realizar un diagnóstico general del estado actual del ventilador.

Inspeccionar que el ventilador no presente fugas de material en su estructura.

Hacer una limpieza completa de la placa de identificación del ventilador y así poder apreciar si se está realizando el mantenimiento preventivo al equipo correcto.

Revisar que no exista corrosión en la guarda protectora y en la estructura externa del ventilador.

Quitar la guarda protectora que cubre a las poleas conducida y conductora, ya que esto permitirá poder examinar de cerca a cada una de las fajas y poleas.

Revisar el estado y desgaste que presenta cada una de las poleas y fajas del ventilador. Si el estado es malo, proceder al cambio de las mismas.

2. Examinar y corregir la estructura interna y externa que compone al ventilador.

Inspeccionar que la carcasa del ventilador no presente depósitos de material fraguado que puedan perjudicar los alabes del impulsor.

Verificar que los álabes del impulsor no tengan material fraguado que pueda afectar su velocidad de rotación.

Examinar que los álabes del impulsor no presenten daños físicos como rajaduras, desgastes y quebraduras.

Para terminar, limpiar la estructura externa del ventilador de todo aquel material en polvo presente.

3. Revisar que no exista atoramiento de material en los ductos de aire.
4. Verificar que la deflexión de las fajas del ventilador sea de 1/64" por cada pulgada entre ejes al aplicar una fuerza de 20 libras y coloque nuevamente la guarda protectora.
5. Para terminar, realizar la limpieza superficial del exterior e interior del ventilador.

#### **5.1.4 Procedimiento de mantenimiento preventivo para una compuerta de clapeta**

### **PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UNA COMPUERTA DE CLAPETA**

**OBJETIVO:** Documentar y estandarizar cada una de las actividades que forman parte del mantenimiento preventivo correspondiente a las compuertas de clapeta.

**ALCANCE:** Desde que el mecánico responsable de realizar el mantenimiento preventivo recibe la orden de trabajo hasta la terminación de las labores y limpieza del equipo.

**DOCUMENTOS RELACIONADOS:** Manual de mantenimiento de los colectores de polvo ACS Engineering SRL.

## **DESARROLLO:**

1. Revisar la lubricación del motorreductor que se encuentra acoplado a la compuerta de clapeta.
  - 1.1 Inspeccionar el nivel de aceite que presenta el motorreductor, para ver si este presenta el nivel adecuado.
  - 1.2 Verificar que el aspecto del aceite sea el adecuado, ya que esto es indispensable para garantizar que aún mantiene sus propiedades y aditivos al cien por ciento.
  
2. Inspeccionar el estado físico de la compuerta de clapeta del colector de polvo.
  - 2.1 Visualizar el nivel de desgaste interno y externo que presenta la compuerta de clapeta en su estructura metálica.
  - 2.2 Verificar que la estructura de la compuerta de clapeta, no presenta síntomas de corrosión.
  - 2.3 Revisar el desgaste que presentan los asientos de la compuerta de clapeta.
  - 2.4 Mantener un especial cuidado a la determinación de cualquier falla, rotura o quebradura que pueda presentar cualquier parte de la estructura que conforma a la compuerta de clapeta.
  - 2.5 Verificar que el contrapeso de la compuerta de clapeta funcione adecuadamente.
  - 2.6 Proceder a inspeccionar que los sellos y retenedores de la compuerta de clapeta se encuentren en buen estado, lo cual garantiza que no habrán fugas de material en polvo.
  
3. Por último, limpiar y ordenar el área de trabajo para poner en funcionamiento el equipo al cual le fue planificado y ejecutado su mantenimiento preventivo.

## 5.2 Guía para la localización de fallas en un colector de polvo

La guía para la localización de fallas es un documento técnicamente elaborado para facilitar la resolución de problemas que ocurren durante el funcionamiento de un colector de polvo a consecuencia de una falla.

**Tabla I. Guía para la localización de fallas eléctricas e instrumentistas en un colector de polvo**

| Falla                    | Causa probable  | Solución o corrección   |
|--------------------------|---|---|
| No hay energía eléctrica | Fusible quemado                                       | Reemplazar el fusible   |
|                          | Circuito de control abierto                           | Los circuitos de control deben cerrarse   |
|                          | Diferencial de presión                                | Colocar un puente entre las terminales del interruptor de diferencial de presión  |
| No hay pulso de salida   | El tablero del <i>timer</i> tiene un triac defectuoso | Reemplazar el tablero del <i>timer</i>  |
|                          | Tiempo apagado  | Revisar la resistencia de 0 – 1 megaohms  |
| No se limpia una hilera  | Válvula solenoide                                     | Sin desconectar la terminal a la válvula solenoide, usar un voltímetro para determinar si hay voltaje de salida de 115 voltios. |

Fuente: Manual de los colectores de polvo. ACS Engineering SRL. Pág. 20



**Tabla II. Guía para la localización de fallas  
mecánicas en un colector de polvo**

| <b>Falla</b>                                       | <b>Causa probable</b>  | <b>Solución o corrección</b>   |
|--|--|--|
| Ciclo de tiempo errático                           | Tablero del <i>timer</i>   | Mover los potenciómetros de uno a otro extremo de su recorrido varias veces.   |
| Fuga de polvo en el casco                          | Bolsas instaladas incorrectamente                                      | Revisar la instalación de las bolsas y repararlas si es necesario  |
|  | Cuellos de las bolsas están mal estirados                              | Estirar correctamente los cuellos de las bolsas  |
|  | Bolsas dañadas   | Reemplazar las bolsas dañadas  |
|  | Los ganchos del venturi están mal instalados o ya no están en su lugar | Reparar si es necesario  |
| Acción limpiadora de las bolsas rápidamente dañada | Suministro inadecuado de aire de limpieza                              | Revisar el suministro de aire ya que la presión correcta de aire debe estar entre 90 y 100 psig  |
|  | Operación inadecuada de la válvula solenoide                           | Revisar las válvulas solenoides; un flujo de aire continuo indica que la válvula esta abierta y si no hay un flujo de aire indica que la válvula esta tapada |

| <b>Falla</b>                             | <b>Causa probable</b>   | <b>Solución o corrección</b>  |
|--|---|---|
|  | <i>Timer</i> defectuoso   | Reemplazar el mecanismo del <i>timer</i>  |
|  | Excesiva mezcla de aire y polvo dentro del colector de polvo                | Inspeccionar el porque de la excesiva mezcla en el colector de polvo. Se puede reducir el mezclado mediante el cierre de los dampers y haciendo funcionar el mecanismo de limpieza. |
|  | Flujo incorrecto de gas (muy alto o muy bajo)                               | Inspeccionar la rotación y velocidad del ventilador y la posición del damper. Esto es necesario para obtener un flujo específico de gas.  |
|  | El material de las bolsas es incorrecto para la composición química del gas | Reemplazar las bolsas con bolsas de un material apropiado para soportar el tipo de polvo.   |
|  | La temperatura del gas es mayor que la especificada                         | Revisar la temperatura del gas y cambie el material de las bolsas si es necesario   |
| Caída de presión en el manómetro de alta | Flujo de gas muy alto   | Inspeccionar la velocidad del ventilador y la posición del damper.  |

| <b>Falla</b>  | <b>Causa probable</b>                           | <b>Solución o corrección</b>  |
|---|---|---|
|   | Acción limpiadora ineficiente                   | Revisar el suministro del aire de limpieza. La presión correcta de aire debe estar en el rango de 90 a 100 psig |
|   | Operación inapropiada de la válvula solenoide   | Revisar las válvulas solenoides y reemplazar  |
|   | Tiempo de secuencia del <i>timer</i> incorrecto | Revisar los intervalos de ON y OFF. Ajustar si es requerido   |
|   | <i>Timer</i> defectuoso                         | Reemplazar el <i>timer</i>  |
|   | Falla en la descarga de polvo                   | Revisar los mecanismos de descarga de polvo   |
|   | Polvo contenido en el depósito de aire limpio   | Limpiar el depósito de aire limpio. Revisar si hay bolsas sucias, limpiarlas o reemplazarlas si es necesario    |
|   | Electricidad estática en el colector            | Incrementar la humedad relativa en el colector  |
| Flujo de gas en el sistema por debajo de los parámetros de diseño | Rotación incorrecta del ventilador              | Revisar la rotación de ventilador, corregirlas si es mala.  |
|   | Fajas del ventilador flojas                     | Revisar la tensión de las fajas y ajústelas   |

| <b>Falla</b>                                      | <b>Causa probable</b>  | <b>Solución o corrección</b>   |
|---|--|--|
|   | Fugas de aire en el sistema de gas                             | Revisar puertas, depósito de aire, manifolds, ductos y reparar las fugas encontradas.  |
|   | Fugas en el sistema colector de polvo                          | Revisar el aparato de descarga para verificar que no haya fugas en el mismo. Reparar si es necesario.  |
|   | Bloqueos en el sistema de gas                                  | Inspeccionar que las bolsas no estén dañadas, que los ductos no estén obstruidos y que el damper no se encuentre cerrado. Limpiar o reparar de ser necesario |
| Presión del aire de limpieza se mantiene fallando | El compresor esta sobre o subdimensionado                      | Verificar el manual del compresor  |
|   | Fugas en la línea principal de aire comprimido                 | Localizar y reparar las fugas  |
|   | Las válvulas de solenoide o de diafragma se mantienen abiertas | Examinar las válvulas, limpiarlas y revisarlas de ser necesario  |

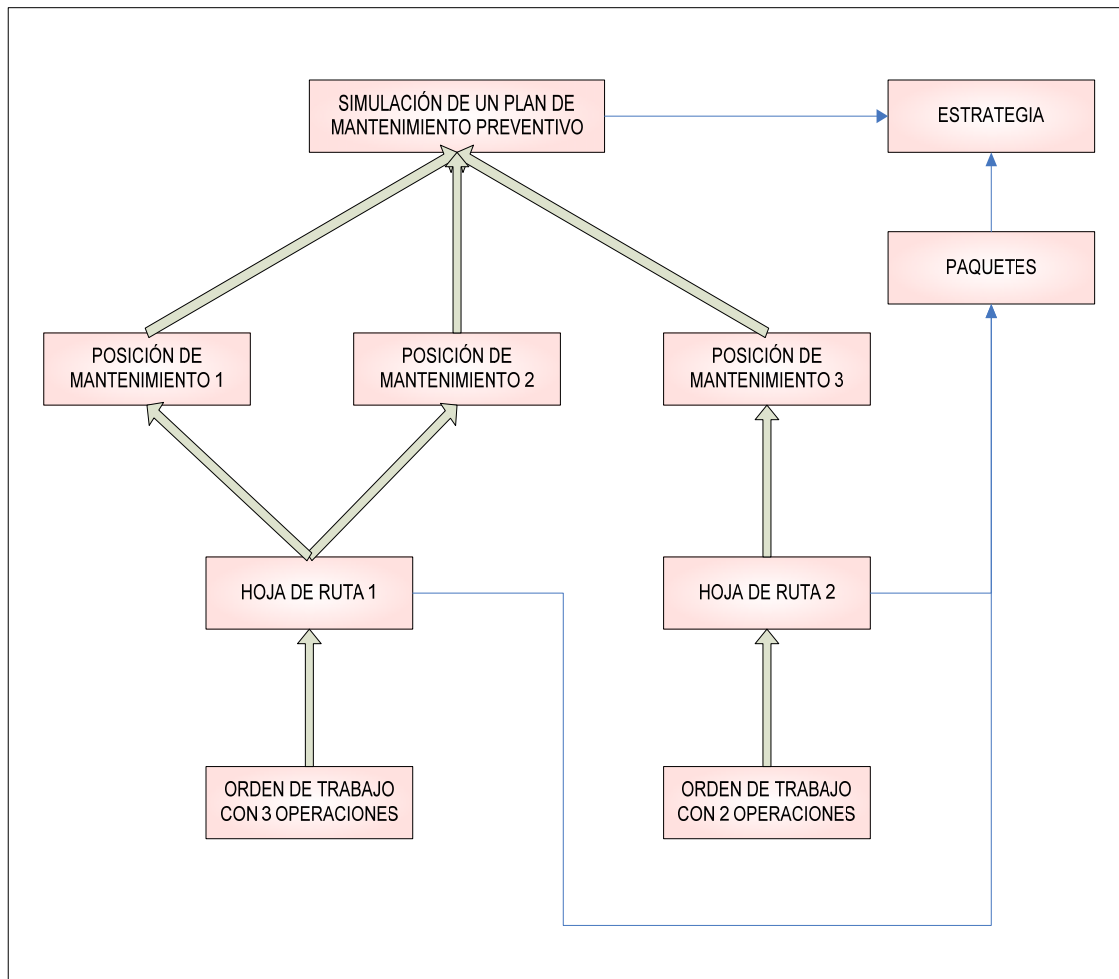
| <b>Falla</b>                                    | <b>Causa probable</b>  | <b>Solución o corrección</b>   |
|---|--|--|
| Las bolsas del filtro se deterioran rápidamente | La temperatura del colector es demasiado alta  | Examinar la razón de la alta temperatura y corregirla de ser posible. Otra opción sería de cambiar las bolsas por otras de diferente material                                |
|   | La composición química del gas es incompatible con el material de la bolsa               | Revisar la composición de los gases, si esta es incompatible con el material de las bolsas, reemplazarlas con bolsas de material compatible con la composición de los gases. |
|   | Instalación incorrecta de las bolsas   | Examinar el contacto físico que tienen las bolsas con las paredes del colector o con otras bolsas y corregir su posición de ser necesario.                                   |
|   | Abrasión en las bolsas a consecuencia de una alta velocidad de choque de las partículas. | Si esta es muy alta, experimentar con un difusor de gas.   |

Fuente: Manual de los colectores de polvo. ACS Engineering SRL. Pág. 22

### 5.3 Creación de una simulación para el plan de mantenimiento preventivo

Para comprender el concepto de lo que es la simulación de un plan de mantenimiento preventivo, los campos que abarca, así como las relaciones existentes, se presenta el siguiente diagrama. (Ver figura 13).

**Figura 13. Diagrama de la simulación de un plan de mantenimiento en SAP R / 3**



Fuente: Desarrollo de planes de mantenimiento preventivo por medio del modulo SAP R / 3. Estuardo Vargas. Pág. 15

La anterior figura representa la relación existente entre los campos que integran la simulación de un plan de mantenimiento preventivo. Primero se crean las posiciones de mantenimiento especificando la estrategia de mantenimiento a utilizar en las mismas. Posteriormente se crea una hoja de ruta para cada posición, la cual contiene diferentes operaciones con diferentes paquetes de mantenimiento; una hoja de ruta puede ser la misma para dos diferentes posiciones de mantenimiento.

Con las posiciones de mantenimiento completas, se les asigna a la simulación del plan de mantenimiento preventivo para darle corrimiento al plan de mantenimiento preventivo.

### **5.3.1 Estrategia de mantenimiento**

Para comprender la forma en que debe determinarse la estrategia de mantenimiento a utilizar en la creación de una simulación, dentro de SAP R / 3, para el plan de mantenimiento preventivo del sistema de colectores, se detalla lo siguiente:

#### **5.3.1.1 Definición de estrategia de mantenimiento**

La estrategia de mantenimiento, es el plan de acción que se define en el paquete de computación SAP R / 3 en una unidad de tiempo determinado (años, meses, días, horas, etc.), para lograr un determinado fin.

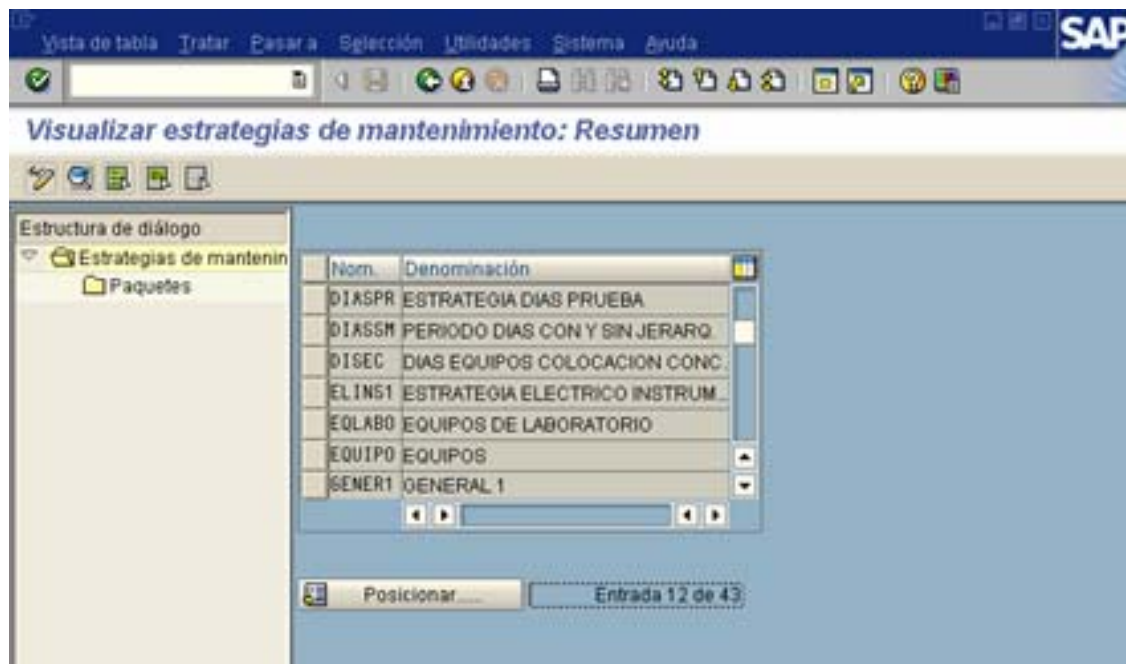
En sí, para efectos de la simulación del plan, la estrategia se utiliza para lograr la repetitividad de una actividad de mantenimiento preventivo en forma automática, generada por el mismo sistema.

### 5.3.1.2 Selección de la estrategia de mantenimiento

Como el plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, contempla frecuencias de mantenimiento diferentes, se utiliza la estrategia ELINS1. La estrategia ELINS1 (Estrategia Eléctrico Instrumentista) contempla frecuencia de mantenimiento (paquetes) diarios, semanales, quincenales, trimestrales, semestrales y anuales. Todas las frecuencias anteriores tienen un offset (desplazamiento en el tiempo) para adecuar todas las semanas del año a los distintos paquetes de mantenimiento.

La estrategia ELINS1 consta de 92 paquetes definidos en unidades de tiempo, en sub-unidad de días y tomando los meses de 28 días, el semestre de 24 semanas y el año de 48 semanas. Para una mejor comprensión de los párrafos anteriores, ver las figuras 14 y 15.

**Figura 14. Estrategias de mantenimiento de la planta**

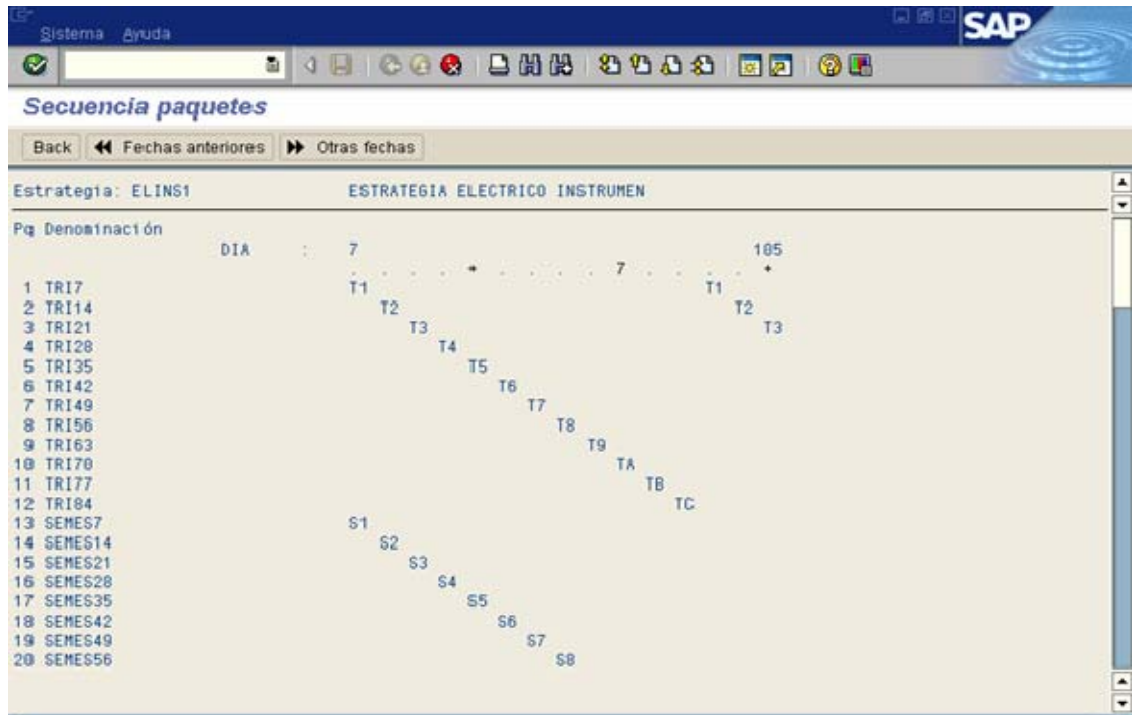


Fuente: Desarrollo de planes de mantenimiento preventivo por medio del modulo SAP R / 3. Estuardo Vargas. Pág. 21



La figura de arriba muestra las diferentes estrategias de mantenimiento, aplicables en la elaboración de simulaciones de planes de mantenimiento, dentro de la planta en donde fue elaborado el proyecto.

**Figura 15. Paquetes de mantenimiento de la estrategia ELINS1**



Fuente: Desarrollo de planes de mantenimiento preventivo por medio del modulo SAP R / 3. Estuardo Vargas. Pág. 24

En la figura anterior, se observa el ploteo en el tiempo de los diferentes paquetes de mantenimiento que componen la estrategia eléctrico instrumentista (ELINS1).

### 5.3.2 Posición de mantenimiento

Una posición de mantenimiento, es un campo de vital importancia para la creación, corrimiento y seguimiento de cualquier simulación de un plan de mantenimiento.

### **5.3.2.1 Definición de posición de mantenimiento**

La posición de mantenimiento es el enlace entre la estrategia de mantenimiento y la simulación del plan de mantenimiento. La posición de mantenimiento es la que se define en un plan de mantenimiento y es por medio de la cual se enlaza a la hoja de ruta. Para la simulación de un plan de mantenimiento pueden existir varias posiciones de mantenimiento. En una posición de mantenimiento se define el equipo a atender.

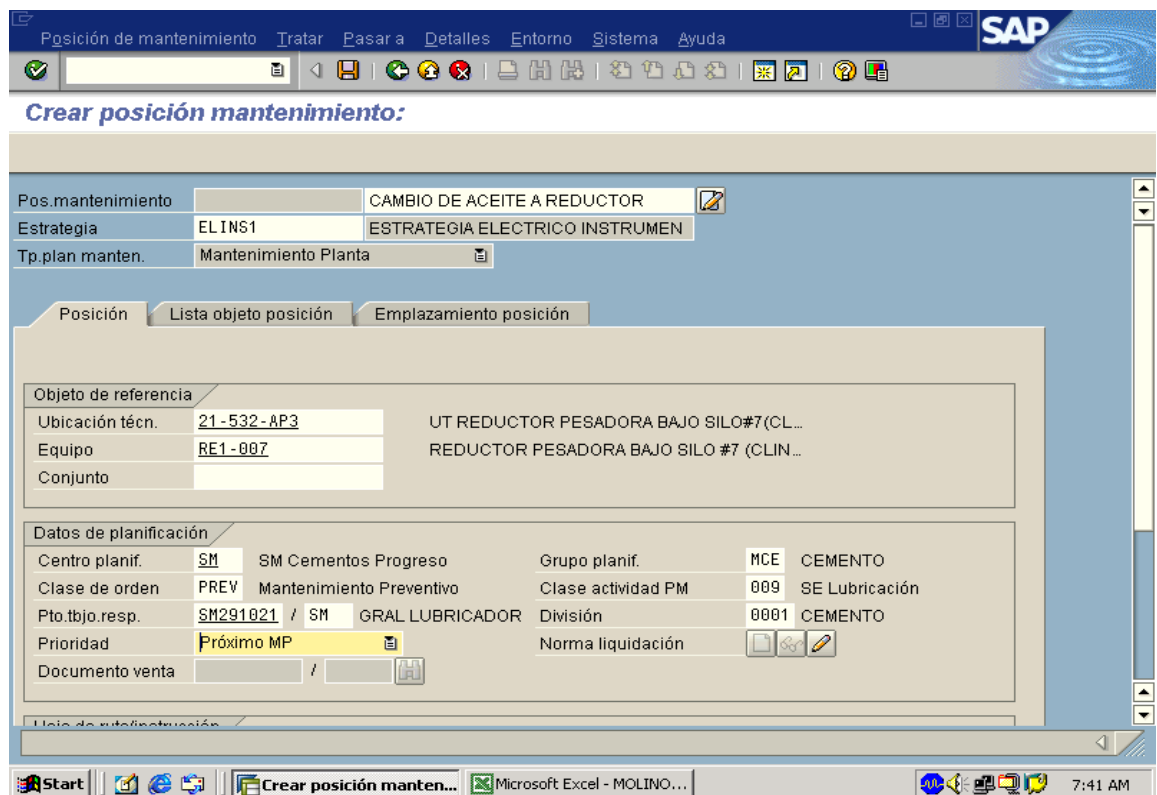
### **5.3.2.2 Elaboración de las posiciones de mantenimiento**

Para crear la simulación del plan de mantenimiento preventivo del sistema de colectores de polvo, se procede a elaborar una posición de mantenimiento para cada equipo mecánico que integra a cada colector de polvo. Para realizar una posición de mantenimiento, se procede a ingresar la siguiente información a la misma:

- Texto con el cual se identificará a la posición de mantenimiento.
- Código del equipo.
- Centro de planificación.
- Grupo planificador.
- Clase de orden.
- Clase de actividad PM.
- Puesto de trabajo responsable.
- División.
- Prioridad.
- Norma de liquidación.
- Grupo de hoja de ruta.
- Número de hoja de ruta.

Luego de llenar todos los campos mencionados anteriormente, el paquete de computación SAP R / 3 genera un número único para la misma. Para ilustrar la forma que presenta la creación de una posición de mantenimiento, dentro de SAP R / 3, se muestra el siguiente ejemplo gráfico. (Ver figura 16)

**Figura 16. Creación de una posición de mantenimiento**



Fuente: Desarrollo de planes de mantenimiento preventivo por medio del modulo SAP R / 3. Estuardo Vargas. Pág. 26

### 5.3.3 Hoja de ruta

La hoja de ruta es la etapa, dentro de SAP R / 3, en la que se define el puesto de trabajo al cual se cargará el costo de la realización de la actividad de mantenimiento, la actividad a realizar en el equipo, la cantidad de personas, el tiempo de duración, la frecuencia de mantenimiento y la clave modelo.

### 5.3.3.1 Definición de hoja de ruta

La hoja de ruta es la que define a que posición de mantenimiento se asignará una orden de trabajo específica, ya sea con una operación o con varias operaciones dentro de la misma. Un equipo puede estar definido con varias hojas de rutas hacia la misma posición de mantenimiento o a distintas.

### 5.3.3.2 Creación de las hojas de ruta

Para efectos de creación de la simulación del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, en cada una de las hojas de ruta elaboradas se contempla lo siguiente: definición de la actividad a realizar, el tiempo de duración de la actividad, la cantidad de personas necesarias y la asignación de cada actividad de mantenimiento preventivo a su respectivo paquete de mantenimiento.

Para ilustrar la creación de una hoja de ruta, dentro de una posición de mantenimiento, se muestra la siguiente figura. (Ver figura 17)

Figura 17. Creación de una hoja de ruta

| Op.  | SOp | PstoTbjo | Ce. | Ctrl | Descripción d... | T... | Trabajo | Un. | N° | Dur. | Un. | C | %   | Fn. | ClvMod | Conjunto | L... | E |
|------|-----|----------|-----|------|------------------|------|---------|-----|----|------|-----|---|-----|-----|--------|----------|------|---|
| 0010 |     | SM291021 | SM  | PH01 | CAMBIO DE A...   |      | 2.0     | HR  | 1  | 2.0  | HR  | 2 | 100 | 1   |        |          |      |   |
| 0020 |     | SM291021 | SM  |      |                  |      |         |     |    |      |     |   |     |     |        |          |      |   |
| 0030 |     | SM291021 | SM  |      |                  |      |         |     |    |      |     |   |     |     |        |          |      |   |
| 0040 |     | SM291021 | SM  |      |                  |      |         |     |    |      |     |   |     |     |        |          |      |   |
| 0050 |     | SM291021 | SM  |      |                  |      |         |     |    |      |     |   |     |     |        |          |      |   |
| 0060 |     | SM291021 | SM  |      |                  |      |         |     |    |      |     |   |     |     |        |          |      |   |
| 0070 |     | SM291021 | SM  |      |                  |      |         |     |    |      |     |   |     |     |        |          |      |   |
| 0080 |     | SM291021 | SM  |      |                  |      |         |     |    |      |     |   |     |     |        |          |      |   |
| 0090 |     | SM291021 | SM  |      |                  |      |         |     |    |      |     |   |     |     |        |          |      |   |
| 0100 |     | SM291021 | SM  |      |                  |      |         |     |    |      |     |   |     |     |        |          |      |   |
| 0110 |     | SM291021 | SM  |      |                  |      |         |     |    |      |     |   |     |     |        |          |      |   |
| 0120 |     | SM291021 | SM  |      |                  |      |         |     |    |      |     |   |     |     |        |          |      |   |

Resumen general operación

PaqMa... Componentes R... MAF PaqServ CarInsp Entrada 1 / 1

Se ha efectuado un cálculo

Fuente: Desarrollo de planes de mantenimiento preventivo por medio del modulo SAP R / 3. Estuardo Vargas. Pág. 30

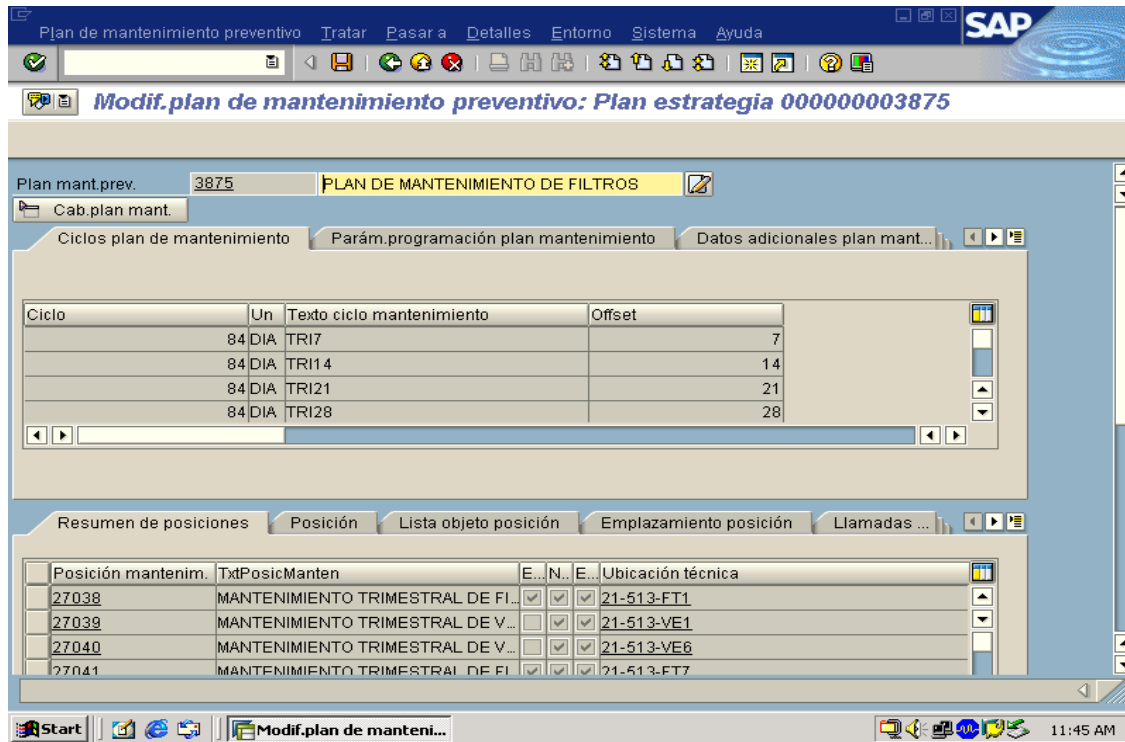
#### **5.3.4 Asignación de las posiciones de mantenimiento a la simulación del plan de mantenimiento preventivo**

La asignación de las posiciones de mantenimiento a la simulación del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, se hace con la finalidad de obtener una proyección en el tiempo de cada actividad de mantenimiento. En otras palabras, esta simulación permite observar la fecha en que toca la realización de una actividad de mantenimiento preventivo a un determinado equipo. Los pasos que se ejecutan para asignar cada posición de mantenimiento a la simulación del plan, son los siguientes:

- Ingresar a la transacción, modificar planes de mantenimiento.
- Escribir el código de la simulación del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo.
- Seleccionar el comando, agregar otra posición de mantenimiento, y luego se escribe el código de la misma.
- Ya con el código de la posición de mantenimiento escrito, se procede a utilizar el comando ejecutar para añadir dicha posición a la simulación del plan de mantenimiento preventivo.
- Por último, grabar la simulación del plan de mantenimiento para que la posición de mantenimiento quede guardada.

La figura 18 muestra diversas posiciones de mantenimiento ya asignadas a la simulación del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo. Es en esta parte, en donde se dan los últimos detalles para dar corrimiento a la simulación del plan de mantenimiento preventivo, esto último a cargo del ingeniero planificador.

**Figura 18. Posiciones de mantenimiento asignadas a la simulación del plan de mantenimiento preventivo del sistema de colectores de polvo**



Fuente: Desarrollo de planes de mantenimiento preventivo por medio del modulo SAP R / 3. Estuardo Vargas. Pág. 40

## **6. SEGUIMIENTO Y MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL SISTEMA DE COLECTORES DE POLVO**

### **6.1 Comparación entre las actividades señaladas por el plan de mantenimiento preventivo y las descritas en su respectiva simulación**

Ya corrida la simulación del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, SAP R / 3 genera automáticamente las órdenes de trabajo correspondientes a las actividades de mantenimiento preventivo que deben realizarse para una determinada semana.

Como parte del seguimiento al plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, se verifica que las órdenes de trabajo generadas por la simulación de SAP R / 3, coincidan exactamente con las actividades indicadas en el diagrama de Gantt del plan de mantenimiento preventivo del sistema de colectores de polvo.

La revisión entre la simulación de SAP R / 3 y el diagrama de gantt del plan de mantenimiento preventivo del sistema de colectores de polvo, se hace con la finalidad de que ambos tengan las mismas actividades para iguales fechas y así se cumpla realmente lo planificado.

Por motivo de que las órdenes de trabajo se pudieron emitir a través de la simulación del plan de mantenimiento preventivo, estas presentan un formato digital predeterminado y estandarizado para toda la planta.

Otro de los beneficios de la creación de la simulación de SAP R / 3, es que el ingeniero planificador puede realizar y controlar las órdenes de trabajo de un modo más sencillo, fácil, ordenado y planificado tanto para tiempo presente como para futuro.

## **6.2 Generación de las órdenes de trabajo**

La orden de trabajo, es la herramienta que se utiliza para asignar, ejecutar y controlar todas las actividades de mantenimiento que deben hacerse en la planta, así como sus materiales y respectivos repuestos. Para generar de manera correcta, una orden de trabajo, se completa la siguiente información:

- Código del equipo donde fue realizado el trabajo.
- Operación que fue ejecutada por los responsables de realizar el mantenimiento.
- Fecha de inicio y finalización de la actividad que fue ejecutada.
- Tiempo estimado de duración, de cada una de las actividades de mantenimiento contenidas dentro de la orden de trabajo.
- Nombre y código del personal responsable de realizar cada una de las actividades de mantenimiento.

Al finalizar una actividad de mantenimiento, los responsables de realizar el mantenimiento, completan la siguiente información:

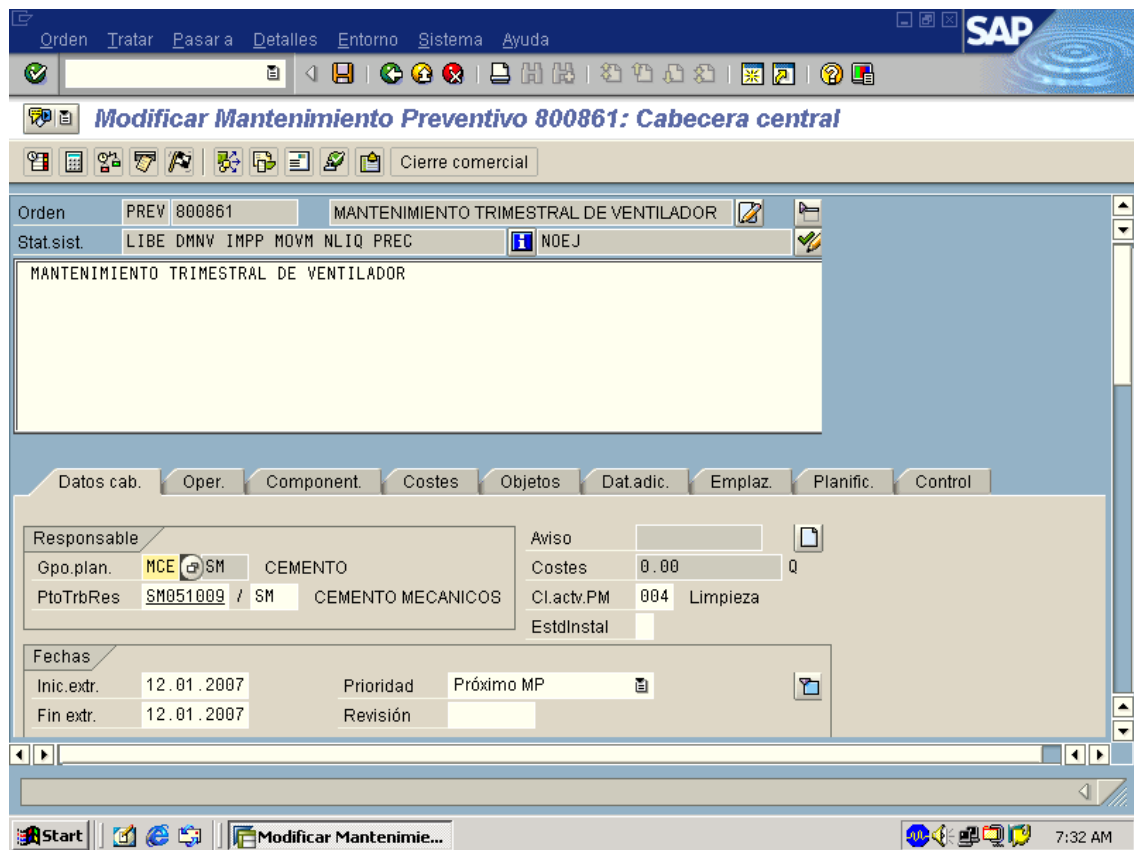
- Los tiempos reales de duración de cada actividad de mantenimiento.
- Descripción detallada de cada actividad de mantenimiento realizada.
- Materiales y herramientas utilizadas durante la realización de la orden de trabajo.



- Personal de mantenimiento que realizó y revisó las actividades de mantenimiento, contenidas dentro de la orden de trabajo.
- Situaciones de retraso que se presentaron, observaciones y / o trabajos pendientes por realizar.

Las figuras 19 y 20 muestran el esquema de la orden de trabajo en SAP R/3, la cual es utilizada en la planta para la realización de los trabajos de mantenimiento, la misma debe ser generada por el asistente de control de mantenimiento y completada por las personas que ejecutan la tarea. (Ver figura 21, donde se indica el flujo de información de la orden de trabajo).

**Figura 19. Orden de trabajo utilizada en la planta**



Fuente: Desarrollo de planes de mantenimiento preventivo por medio del modulo SAP R / 3. Estuardo Vargas. Pág. 45

La figura anterior es una representación gráfica de la cabecera que tiene una determinada orden de trabajo. En dicha cabecera se llena la siguiente información: descripción de la actividad, fecha de inicio, fecha de terminación, clase de la actividad, puesto de trabajo responsable, grupo planificador, prioridad y el costo de realización de la actividad.

La figura que se presenta a continuación, es una representación gráfica del formato que tiene una determinada orden de trabajo para cuantificar todos los materiales que se consumen durante la realización de la actividad de mantenimiento que se trate.

**Figura 20. Orden de trabajo cargada con materiales**

Orden: PREV 800861 MANTENIMIENTO TRIMESTRAL DE VENTILADOR

Stat sist: LIBE DMNV IMPP MOVM NLIQ PREC NOEJ

MANTENIMIENTO TRIMESTRAL DE VENTILADOR

| Po... | Componente | Denomin.                     | TE | Ctd.neces. | UM | TP | S... | Alm. | Ce. | Op.  | Lote |
|-------|------------|------------------------------|----|------------|----|----|------|------|-----|------|------|
| 0010  | 4815-0100  | RETAZO TELA DE ALGODON       |    | 1.00       | LB | L  |      |      | SM  | 0010 |      |
| 0020  | 4815-0026  | AFLOJALOTODO SPRAY           |    | 1          | U  | L  |      |      | SM  | 0010 |      |
| 0030  | 5107-0090  | EMPAQUE PORTEZUELA 3/8" X 1" |    | 1.500      | M  | L  |      |      | SM  | 0010 |      |
| 0040  | 4821-0045  | PEGAMENTO CONTACTO (TUBO)    |    | 1          | U  | L  |      |      | EM  | 0010 |      |

Fuente: Desarrollo de planes de mantenimiento preventivo por medio del modulo SAP R / 3. Estuardo Vargas. Pág. 47

### **6.2.1 Objetivo de la orden de trabajo**

El objetivo de la orden de trabajo, dentro del proceso de producción minera en seco, es ser un documento escrito tangible que demuestre el número de actividades de mantenimiento realizadas a un determinado equipo o maquinaria.

Además, dentro de una determinada orden de trabajo, se recaban datos que son de suma utilidad para la constante actualización de los planes de mantenimiento que se manejan dentro de la planta. Dentro de la actualización de los planes de mantenimiento, estos datos recabados sirvieron principalmente para optimizar el tiempo de ejecución de las actividades de mantenimiento por parte de los responsables de las mismas.

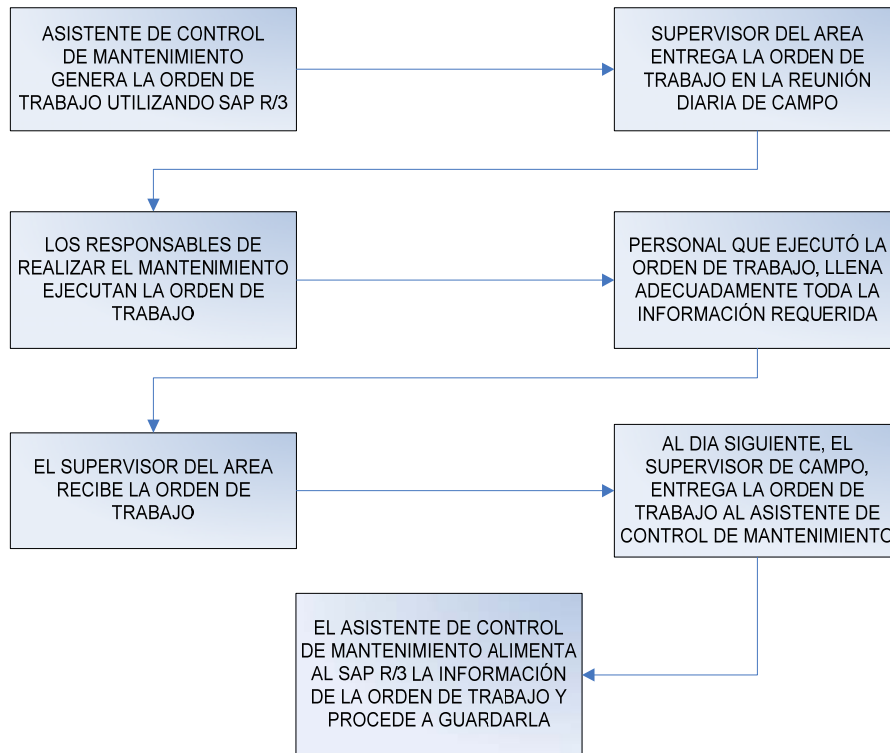
Por último, las órdenes de trabajo se utilizan para mantener un historial completo de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo ejecutadas en un determinado equipo. Dentro de estas actividades se recaban datos históricos tales como fechas reales de ejecución de una determinada actividad, repuestos y materiales utilizados para la realización de la actividad, personal que se encargó de realizar dicha actividad y tiempo de duración real de la misma. Estos datos son de mucha utilidad para la constante actualización de los procedimientos de trabajo y así minimizar el tiempo de respuesta ante una emergencia.

### **6.2.2 Diagrama del proceso de ejecución de una orden de trabajo**

La información recabada a partir de la planificación, ejecución y seguimiento de las órdenes de trabajo, presenta el siguiente diagrama de flujo. Este

diagrama de flujo esta orientado a la señalización de la trayectoria que sigue la información recabada dentro de la estructura administrativa de mantenimiento.

**Figura 21. Flujo de información de las órdenes de trabajo**



Fuente: Desarrollo de planes de mantenimiento preventivo por medio del modulo SAP R / 3. Estuardo Vargas. Pág. 50

### 6.3 Monitoreo de resultados

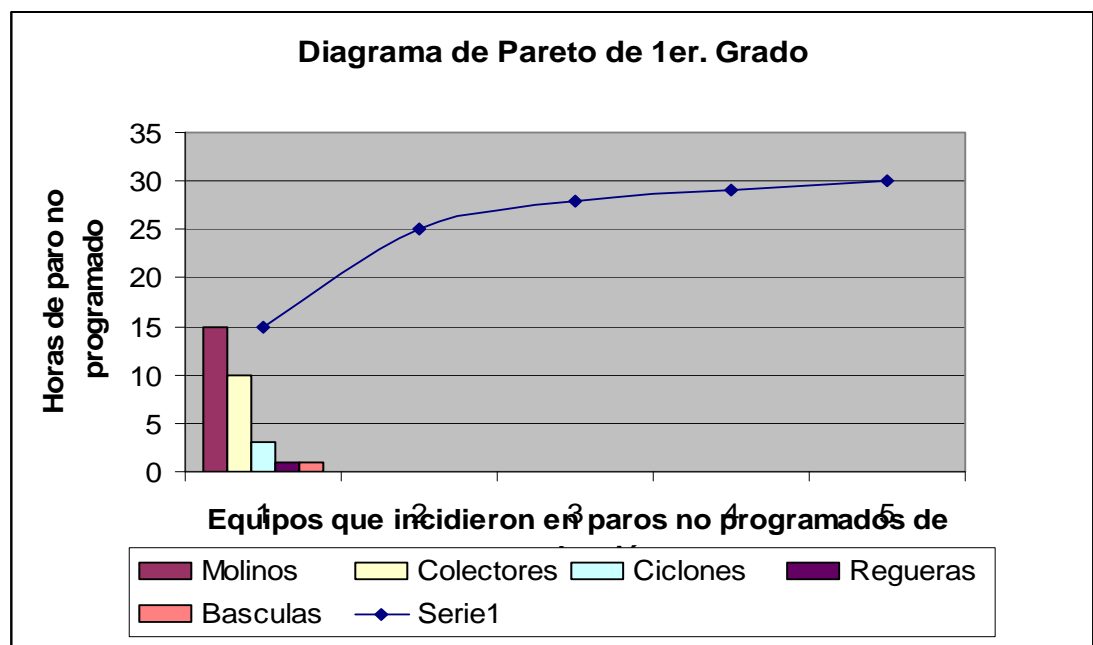
Para realizar el monitoreo de los resultados que ha generado la implementación del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, se utilizan los siguientes indicadores:

- Análisis de Pareto: Esta herramienta de análisis de fallas utiliza el principio 80 / 20, el cual dice que el 80 % de los problemas que aquejan a una determinada industria o empresa están concentrados en el 20 % de los equipos. Los diagramas de Pareto se utilizan para determinar cuáles son los equipos críticos que causan mayor impacto en los paros no programados y por lo tanto afectan la disponibilidad, confiabilidad y rendimiento de los equipos.

Con motivo de ejemplificar el análisis de falla de los colectores de polvo, por medio de los diagramas de Pareto, se realiza lo siguiente:

- Pareto de primer grado: Este diagrama se utiliza para determinar y comparar la incidencia que tienen los colectores de polvo en los paros no programados de producción contra otros equipos mecánicos del área.

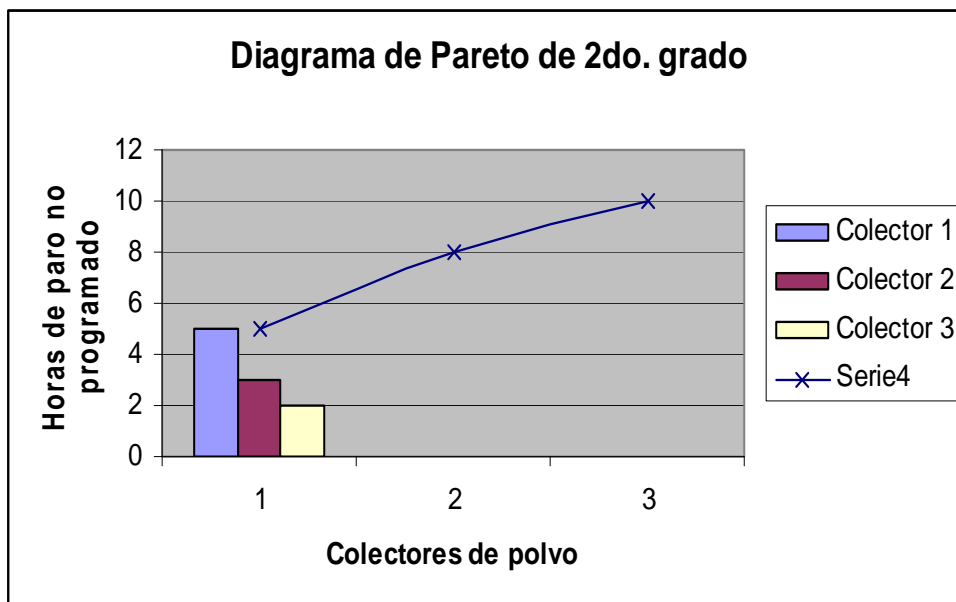
**Figura 22. Diagrama de Pareto de 1er. Grado**



Fuente: Datos obtenidos en la investigación de campo.

- Pareto de segundo grado: Ya determinado que los colectores de polvo inciden fuertemente en los paros no programados de producción, se analiza cual o cuales de los colectores de polvo son los que más problemas producen mediante otro diagrama de Pareto que incluya únicamente a los colectores de polvo.

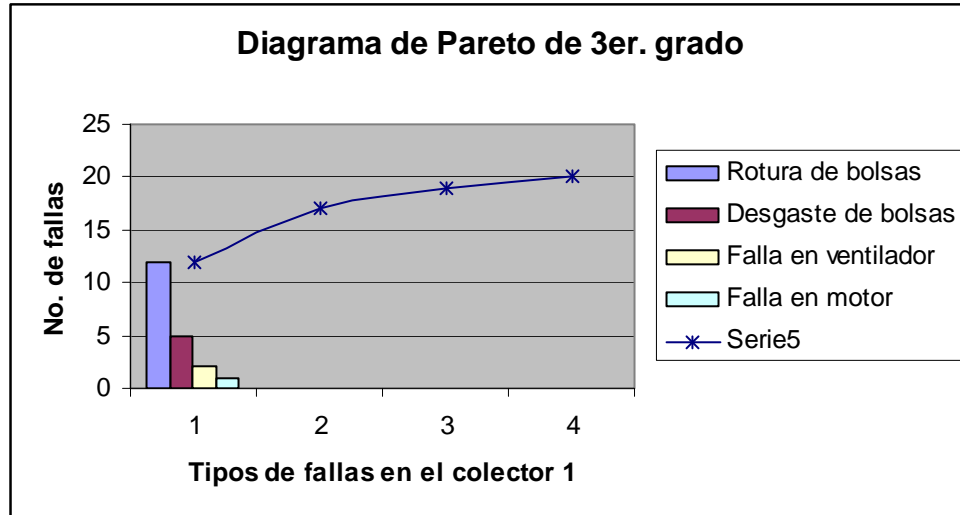
**Figura 23. Diagrama de Pareto de 2do. Grado**



Fuente: Datos obtenidos en la investigación de campo.

- Pareto de tercer grado: Cuando se ha determinado que colector o colectores de polvo son los que más problemas producen en lo referente a los paros de producción no programados, se aplica un tercer diagrama de Pareto para determinar cuales fueron las fallas que más incidieron en el paro súbito del equipo.

**Figura 24. Diagrama de Pareto de 3er. Grado**



Fuente: Datos obtenidos en la investigación de campo.

Con la determinación del tipo de falla que más haya afectado el funcionamiento del colector de polvo, se le informa a la sección de mantenimiento preventivo para que incluyan el monitoreo de este equipo en sus rutinas de mantenimiento.

- Tiempo medio entre fallas (TMEF): Indica el tiempo de disponibilidad y confiabilidad de un determinado equipo, antes de la ocurrencia de una falla o avería en particular.

$$TMEF = \left( \frac{Hrsdefuncionamiento}{Cantidaddecorrectivo} \right) \quad (1)$$

Donde:

Hrs de funcionamiento: Son las horas que el equipo funciona sin ningún problema que lo haga parar súbitamente.

Cantidad de correctivo: Es el número de órdenes correctivas con las que se ha atendido un equipo en un período de tiempo.

- Tiempo medio para reparación (TMPR): Indica el tiempo consumido para reparar un equipo y hacer que vuelva a trabajar sin ningún problema.

$$TMPR = \left( \frac{Hrsdereparación}{Cantidaddecorrectivo} \right) \quad (2)$$

Donde:

Hrs de reparación: Es la sumatoria del número de horas consumidas para la reparación de un equipo en un periodo de tiempo.

Cantidad de correctivo: Es el número de órdenes correctivas con las que se ha atendido un equipo en un período de tiempo.



- % de Disponibilidad de la maquinaria: Es el porcentaje de tiempo que se tiene para producir con respecto al tiempo total, tomando en cuenta el tiempo que consumen las labores de mantenimiento preventivo y correctivo.

$$\% Disponibilidad = \left( \frac{HrsPeriodo - HrsdeMantto}{HrsPeriodo} \right) \quad (3)$$

Donde:

Hrs de período: Es el total de horas disponibles en un periodo de tiempo.

Hrs de Mantto: Es la sumatoria del número de horas en que la maquina se encuentra parada por labores de mantenimiento correctivo y preventivo.

- % de Confiabilidad de la maquinaria: Es el porcentaje de tiempo que se tiene para producir con respecto al tiempo total, tomando en cuenta el tiempo que consumen las labores de mantenimiento correctivo.

$$\% Confiabilidad = \left( \frac{HrsPeriodo - HrsdeManttoCorrectivo}{HrsPeriodo} \right) \quad (4)$$

Donde:

Hrs de período: Es el total de horas disponibles en un periodo de tiempo.

Hrs de Mantto Correctivo: Es la sumatoria del número de horas en que la maquina se encuentra parada por labores de mantenimiento correctivo.

### 6.3.1 Seguimiento del cumplimiento de actividades

En esta etapa, se verifica que las ordenes de trabajo generadas, fueran realizadas en el tiempo y fechas correspondientes por medio de las siguientes actividades:

- Verificación en campo, de la ejecución correcta de las distintas actividades de mantenimiento por parte del personal responsable de las mismas.
- Comparación entre el número de actividades de mantenimiento contenidas dentro del plan de mantenimiento preventivo del sistema de colectores de polvo, contra el número de actividades implícitas dentro las órdenes de trabajo generadas por la simulación de SAP R/3.
- Reuniones semanales con el supervisor del área, cuya finalidad consiste en la cuantificación de las órdenes de trabajo realizadas durante la semana, contra las planificadas y generadas por el sistema SAP R/3.

Luego de obtener la cantidad exacta de órdenes de trabajo realizadas durante la semana, el ingeniero planificador procede al cálculo del índice de cumplimiento de las órdenes de trabajo, mediante la siguiente formula:

$$Indicedecumpli = \left( \frac{Ordenesrealizadas}{Ordenesplanificadas} \right) \quad (5)$$

Ya calculado el índice de cumplimiento, se procede a la búsqueda de la mejora del mismo. Esta mejora se apoya en la capacitación a los responsables de realizar el mantenimiento en lo referente a técnicas de proactividad y liderazgo.

### **6.3.2 Ajuste de frecuencias de mantenimiento**

Este procedimiento de ajuste es sumamente importante para el desarrollo eficiente de cualquier plan de mantenimiento, lo que se traduce en la consecución de los resultados esperados.

Para ajustar de manera adecuada las frecuencias de mantenimiento para cada uno de los colectores de polvo, se utilizan los siguientes criterios de selección:

- Si el colector de polvo y / o equipo respectivo presenta buenas condiciones de operación y de apariencia estructural, al momento de realizarle su respectivo mantenimiento preventivo, se procede a ampliarle la frecuencia de mantenimiento debido a que las condiciones de operación del colector no son muy abrasivas ni dañinas.
- Si el colector de polvo presenta condiciones de operación y de apariencia estructural demasiado alteradas debido a que sus condiciones de operación son excesivamente abrasivas, se procedió a la reducirle la frecuencia de mantenimiento. Esto se realiza para asegurar el correcto y eficiente funcionamiento de los colectores de polvo.



## CONCLUSIONES

1. Se desarrolló e implementó el plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo mediante la planificación de las actividades a través del tiempo, la elaboración de procedimientos de trabajo y la creación de una simulación para la generación automática de las órdenes de trabajo.
2. Los componentes que influyen en el funcionamiento de un colector de polvo son: bolsas, tubos venturi, espejos, canastas, *timer*, interruptor de diferencial de presión, manómetro de diferencial de presión, válvula pulsante y cabezal de aire comprimido.
3. El uso de colectores de polvo, en el proceso de producción minera en seco, ayudó a controlar las emisiones de material en polvo al ambiente, con lo cual se redujo la cantidad de enfermedades respiratorias en los trabajadores de la planta y pobladores de las cercanías del lugar.
4. Actualmente no existe planificación de las actividades de mantenimiento preventivo para los colectores de polvo de la planta, lo cual repercute en paros no programados de líneas de producción a consecuencia del apareamiento de fallas y averías en los mismos.
5. Para realizar un plan de mantenimiento preventivo eficiente y ordenado, se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros: Inventario del equipo existente, actividades de mantenimiento, frecuencia de mantenimiento, tiempo de duración de la actividad y número de personas necesarias.

6. Los mecanismos necesarios para la correcta implementación de un plan de mantenimiento preventivo son la elaboración de procedimientos de trabajo para las actividades de mantenimiento contenidas en el plan y la generación automática de órdenes de trabajo para las mismas, a través de una simulación computarizada.
  
7. Se verificó el cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, mediante el análisis de los resultados obtenidos a través del establecimiento de indicadores de mantenimiento tales como: Diagramas de Pareto, Índice de cumplimiento, Tiempo medio entre fallas, Tiempo medio para reparación, etc.

## RECOMENDACIONES

1. Es importante que todo plan de mantenimiento preventivo vaya acompañado por una documentación estándar de los procedimientos de trabajo y un sistema de generación de órdenes de trabajo, ya que con esto se consiguen actividades de mantenimiento preventivo más ordenadas, optimización de tiempos de trabajo, historial de reparaciones por equipo y mayor compromiso por parte del personal de mantenimiento.
2. Es de suma importancia el conocimiento de cada uno de los componentes que influyen en el funcionamiento de los colectores de polvo, ya que es necesario para la correcta elaboración de cualquier plan de mantenimiento preventivo dirigido a dichos equipos.
3. Es importante el uso continuo de los colectores de polvo, ya que con ello se evita la contaminación atmosférica a través de la reducción de emisiones de material en polvo al ambiente y además se previene el apareamiento de enfermedades respiratorias tanto en trabajadores como en comunidades aledañas a la zona.
4. Es necesaria la creación inmediata de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de colectores de polvo, ya que se reduciría la probabilidad de falla en los mismos y por consiguiente se incrementaría la producción y todos los demás beneficios que esta conlleva.

5. Los parámetros tomados en cuenta para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo, son los fundamentales y necesarios para todo tipo de plan, pero pueden tomarse en cuenta otros adicionales para lograr mejoras administrativas durante el corrimiento del plan.
6. Es sumamente importante que se realicen automáticamente órdenes de trabajo preventivas y procedimientos de trabajo, ya que con éstos se estandarizan las actividades de mantenimiento preventivo, se determinan tiempos estándar de duración, se estima el número de personas necesarias por actividad y se lleva un historial de reparaciones por equipo.
7. Los indicadores de mantenimiento son herramientas de análisis para evaluar el cumplimiento de un plan de mantenimiento, pero debe tenerse cuidado a la hora de interpretarlos debido que muchas veces pueden darse resultados no deseados pero los niveles de producción aumentan o se mantienen, que es el objetivo primordial de todo departamento de mantenimiento.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ACS Engineering SRL. **Manual de los colectores de polvo.** 1ª. Ed. Italia, 2003. 25pp.
2. Avallone, Eugene y Baumeister Theodore. **Manual del Ingeniero Mecánico.** 9ª ed. tr. Francisco G. Noriega, José Enrique de la Cera Alonso, María Teresa Aguilar Ortega. México: Editorial McGraw-Hill, 1996.
3. Gálvez, Juventino. **Perfil ambiental de Latinoamérica y Guatemala.** 1ª ed. Guatemala: Editorial del Instituto de Incidencia Ambiental, 2006. 245 pp.
4. Garza, Fernando y otros. **Enciclopedia de mantenimiento industrial.** 10ª ed. México: Editorial Continental, S.A. de C.V. tomo 4, 1986.
5. Maynard. **Manual del Ingeniero Industrial.** 3ª ed. México: Editorial McGraw – Hill / Interamericana, 2000.
6. Rosaler, Robert C. **Manual de Mantenimiento Industrial.** 1ª ed. México: Editorial McGraw-Hill, 1987.
7. Vargas Chávez, Norman Estuardo. **Desarrollo de planes de mantenimiento preventivo por medio del modulo SAP R / 3.** 1ª ed. Guatemala, 2001. 62 pp.