



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Posgrado  
Maestría de Ingeniería en Mantenimiento

**MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE DE  
CUERO A PRESIÓN DE AGUA**

**Ing. Salvador Girón Véliz**

Asesorado por el MSc. Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, enero de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE DE  
CUERO A PRESIÓN DE AGUA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ING. SALVADOR GIRÓN VÉLIZ**

ASESORADO POR EL MSC. ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO**

GUATEMALA, ENERO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Akú Castillo
EXAMINADOR	Ing. Pedro Miguel Agreda Girón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



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 Postgrado, al Trabajo de Tesis de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento titulado: **“MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE DE CUERO A PRESIÓN DE AGUA”**, presentado por el Ingeniero Mecánico **Salvador Girón Veliz**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, handwritten signature in black ink, enclosed in a hand-drawn oval shape.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, enero de 2014



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
De Postgrado  
Teléfono 2418-9142

La Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **“MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE DE CUERO A PRESIÓN DE AGUA”** presentado por el Ingeniero Mecánico **Salvador Girón Véliz** apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

*“ID Y ENSEÑAD A TODOS”*

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, enero de 2014.

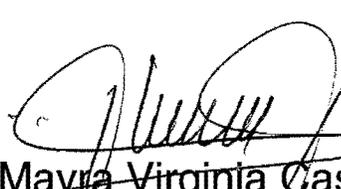
Cc: archivo  
/la



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
De Postgrado  
Teléfono 2418-9142

Como Revisor de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento del Trabajo de Tesis titulado **“MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE DE CUERO A PRESIÓN DE AGUA”**. Presentado por el Ingeniero Mecánico **Salvador Girón Véliz**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

*“ID Y ENSEÑAD A TODOS”*

  
  
Dra. ~~Mayra Virginia Castillo Montes~~ **Montes**  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, enero de 2014.

Cc: archivo  
/la



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
De Postgrado  
Teléfono 2418-9142

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento y revisor del Trabajo de Tesis titulado **“MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE DE CUERO A PRESIÓN DE AGUA”**, presentado por el Ingeniero Mecánico **Salvador Girón Véliz** apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**



MSc. Ing. César Augusto Akú Castillo  
Coordinador de Maestría  
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, enero de 2014.

Guatemala, 09 de enero de 2014

Doctora  
Mayra Castillo  
Directora de Escuela de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Le saludo muy cordialmente.

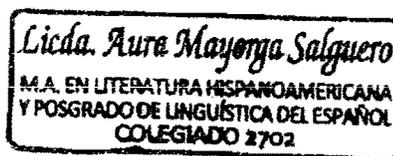
El motivo de la presente es para informarle que, tuve a bien revisar la ortografía, redacción y estilo del trabajo de graduación del **Ing. Salvador Girón Véliz** de la carrera de Maestría en Ingeniería en Mantenimiento, el cual se titula: **MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE DE CUERO A PRESIÓN DE AGUA**; luego de haber cotejado su contenido hasta quedar conforme, procedo a la aprobación respectiva, expresando que significa un aporte significativo para la Escuela de Posgrados.

Atentamente,



Lcda. Aura Mayorga Salguero

Magister en Literatura Hispanoamericana  
Y Posgrado de Lingüística del Español



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE DE CUERO A PRESIÓN DE AGUA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 3 de septiembre de 2011.

**Ing. Salvador Girón Véliz**

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por haberme dado sabiduría y humildad para seguir adelante y alcanzar una de las metas más deseadas.
<b>Mis padres</b>	Miguel Oswaldo Girón (q.e.p.d.) y Victoria Véliz de Girón, como un justo agradecimiento por todos sus esfuerzos, sacrificios y consejos.
<b>Mi esposa</b>	Karla Lorena Rivera Hernández, por su amor, apoyo y motivación para seguir adelante.
<b>Mis hijos</b>	Axel Daniel Girón y Daniela María Girón Rivera; que mi éxito sea un ejemplo a seguir.
<b>Pablo Estuardo Zeceña Rivera</b>	Con amor fraternal.
<b>Mis hermanos</b>	Erwin Oswaldo (q.e.p.d.), Ana Elizabeth (q.e.p.d.), Clara Luz, Leonel Eduardo y Aracely Girón, por brindarme su apoyo y compartir mi éxito.
<b>Mi familia en general</b>	Con mucho cariño.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XI
OBJETIVOS .....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XV
JUSTIFICACIÓN .....	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	XIX
METODOLOGÍA .....	XXI
1. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL .....	1
1.1. Pasos para la implantación del TPM .....	1
1.2. Beneficios del TPM .....	3
1.2.1. Organizativos .....	3
1.2.2. Seguridad .....	4
1.2.3. Productividad .....	4
1.3. Objetivos fundamentales del mantenimiento autónomo .....	5
1.4. Mantenimiento planificado .....	5
1.5. Mantenimiento preventivo .....	6
1.6. Mantenimiento predictivo .....	7
1.6.1. Identificar .....	7
1.6.2. Recolección de información .....	7
1.6.3. Análisis .....	8
1.6.4. Acciones requeridas .....	8
1.6.5. Seguimiento .....	8

1.6.6.	Cambio de diseño.....	9
2.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO .....	11
2.1.	Sistema mecánico.....	12
2.1.1.	Sistema de movimiento de ejes .....	16
2.1.2.	Zona de carga y descarga de material.....	17
2.1.3.	Cabina a prueba de sonido.....	19
3.	BOMBA DE ALTA PRESIÓN DE 30 HP .....	21
4.	SISTEMA ELÉCTRICO.....	27
4.1.	Circuito de mando .....	28
4.2.	Circuito de seguridad .....	28
5.	SISTEMA NEUMÁTICO.....	31
6.	SISTEMA HIDRÁULICO .....	35
7.	MODO DE OPERACIÓN DE FORMA MANUAL Y MEDIDAS DE SEGURIDAD .....	37
8.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	41
8.1.	Limpieza de tolva .....	43
8.2.	Desmontaje de puente .....	43
8.3.	Faja dentada .....	45
8.4.	Revisión de faja dentada.....	47
8.5.	Desmonte de rieles .....	47
8.6.	Limpieza de canasta .....	49
8.7.	Desmontaje y evaluación de rodamientos .....	49

8.8.	Instalación y calibre de rodamientos .....	50
8.9.	Instalación de faja dentada .....	51
8.10.	Lubricación de rodamientos .....	53
8.11.	Instalación de rodamientos .....	53
8.12.	Engrase e instalación de rieles .....	54
8.13.	Inspección de riel de transporte de material .....	55
8.14.	Limpieza de transporte de material .....	56
8.15.	Instalación de transporte de material .....	57
8.16.	Mantenimiento de motor, bomba y filtro .....	58
8.16.1.	Mantenimiento bomba de agua .....	58
8.16.2.	Mantenimiento de turbina .....	59
8.16.3.	Reemplazo de filtros .....	61
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CORTE A PRESIÓN DE AGUA .....	63
	CONCLUSIONES .....	67
	RECOMENDACIONES .....	69
	BIBLIOGRAFÍA .....	71
	APÉNDICES .....	75



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### Figuras

1.	Sistema de corte .....	12
2.	Bomba de alta presión .....	13
3.	Sistema de filtración .....	13
4.	Estructura principal .....	14
5.	Grupo bomba-motor .....	15
6.	Ventilador centrífugo .....	15
7.	Sistema de ejes.....	16
8.	Puente transportador .....	17
9.	Zona de carga y descarga.....	18
10.	Vista frontal de zona de carga y descarga .....	18
11.	Cabina a prueba de sonido .....	19
12.	Panel eléctrico .....	20
13.	Panel de control .....	21
14.	Panel eléctrico de la bomba de alta presión .....	23
15.	Panel eléctrico, vista frontal .....	24
16.	Cabezal de corte .....	25
17.	Desglose de cabezal de corte .....	26
18.	Sistema eléctrico de corte a presión de agua.....	27
19.	Relé inteligente .....	28
20.	Diagrama eléctrico del circuito de mando.....	29
21.	Componentes del sistema neumático.....	31
22.	Válvula del cabezal de corte.....	33
23.	Mecanismo de control manual.....	38
24.	Interruptor de emergencia paro general .....	40

25.	Desmontaje de transporte de material .....	41
26.	Desmontaje de sistema de transporte.....	42
27.	Cuidados en el sistema de transporte.....	42
28.	Limpieza de tolva.....	43
29.	Ubicación de puente .....	44
30.	Instalación de puente.....	45
31.	Protectores de polea.....	46
32.	Tensores para fajas dentadas .....	46
33.	Revisión de faja dentada .....	47
34.	Riel para deslizamiento de rodamiento Rollon NT43 .....	48
35.	Desmante de riel .....	48
36.	Limpieza de canasta.....	49
37.	Rodamiento .....	50
38.	Calibre de rodamientos.....	51
39.	Instalación de faja dentada .....	52
40.	Lubricación de rodamientos.....	53
41.	Instalación de rodamientos .....	54
42.	Lubricación de rieles.....	55
43.	Inspección de riel de transporte.....	56
44.	Limpieza de transporte de material .....	56
45.	Instalación de transporte de material .....	57
46.	Bomba de extracción y filtro.....	59
47.	Mantenimiento de turbina .....	60
48.	Sistema de filtración .....	64

## **Tablas**

I.	Características del agua de corte .....	35
----	---	----

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>HP</b>	Caballos de fuerza
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	Carbonato de calcio
<b>DP</b>	Días transcurridos en el período
<b>NPT</b>	Iniciales en inglés para roscas internacionales de tubería
<b>Km/seg.</b>	Kilómetro por segundo
<b>TPM</b>	Mantenimiento productivo total
<b>mg/l</b>	Miligramos por litro
<b>Fe</b>	Símbolo químico del hierro
<b>Mg</b>	Símbolo químico del magnesio
<b>Mn</b>	Símbolo químico del manganeso
<b>MP9</b>	Software para administración del mantenimiento
<b>TRTC</b>	Tiempo de realización de los trabajos de tipo correctivo
<b>TMEF</b>	Tiempo medio entre fallas
<b>TMPR</b>	Tiempo medio para reparación
<b>TM</b>	Tiempo muerto de todos los trabajos
<b>TC</b>	Trabajos de tipo correctivo
<b>TCR</b>	Trabajos de tipo correctivo realizados
<b>Bar</b>	Unidad de medida de presión



## GLOSARIO

<b>Autómata</b>	Dispositivo que realiza una sucesión de encadenamiento de instrucciones en automático y continuo de operaciones, capaz de procesar una información de entrada para producir una de salida.
<b>Chumacera</b>	Pieza de metal con muesca, donde descansa y gira cualquier eje de maquinaria.
<b>Cilindro neumático</b>	Elemento que realiza trabajo, transformando la energía neumática, en energía mecánica rectilínea; consta de carrera de avance y retroceso.
<b>Cilindro de doble efecto</b>	Tanto el movimiento de salida como el de entrada son debidos al aire comprimido, es decir, este ejerce su acción en las dos cámaras del cilindro, de esta forma puede realizar trabajo en los dos sentidos del movimiento.
<b>Circuito</b>	Red eléctrica que contiene al menos una trayectoria cerrada.
<b>Interruptor</b>	Dispositivo que interrumpe la corriente eléctrica al aumentar la misma, dependiendo del amperaje.

<b>Microinterruptor</b>	Dispositivo eléctrico, para interrumpir el curso de la corriente eléctrica.
<b>Motor reductor</b>	Sistema electromecánico con motor eléctrico y una caja mecánica de engranajes que aumentan el torque y disminuyen la velocidad.
<b>Parámetros</b>	Condiciones que debe de cumplir un dispositivo programable.
<b>PLC</b>	Controlador lógico programable (por sus siglas en inglés <i>Programmable Logic Controller</i> ); este dispositivo tiene en su memoria el programa cuyas instrucciones hacen funcionar la máquina.
<b>Relé de seguridad</b>	Consistente en envío de señal de parada para detener los actuadores, y a continuación, desconectar la alimentación de los mismos.
<b>Rodamiento</b>	Dispositivo mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas que conectan con este.
<b>Rodillo conducido</b>	Pieza cilíndrica metálica, que se encuentra sujeta en los extremos por chumaceras.
<b>Variador de frecuencia</b>	Es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna, por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

## **RESUMEN**

El presente proyecto de maestría corresponde a la realización de mantenimiento y operación de un equipo de corte a presión de agua en la industria manufacturera. La investigación cuenta con los fundamentos prácticos necesarios que soportan el área técnica y experimental.

Uno de los objetivos del trabajo de graduación es llevarlo a la práctica como un proyecto de aplicación y pretende brindar nuevas propuestas de experimentación dentro del ámbito laboral que pueden ser fácilmente desarrolladas y aplicadas en los demás equipos de la planta durante el proceso de producción. Finalmente, busca que el departamento de mantenimiento pueda verificar los resultados obtenidos y sobre todo la seguridad personal en la ejecución de las actividades.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Implementar el plan de mantenimiento preventivo para un sistema de corte de cuero a presión de agua, para minimizar los riesgos de paro durante el proceso de corte.

### **Específicos**

1. Identificar los problemas de funcionamiento que tiene la máquina de corte a presión de agua.
2. Realizar un análisis de fallas en los rieles, rodamientos y ejes, con el objeto de incrementar su vida útil.
3. Planificar el mantenimiento preventivo mediante software MP9, con el propósito de adecuarlo al medio de trabajo, mejorando la frecuencia y procesos de mantenimiento existentes.



## INTRODUCCIÓN

En Guatemala, las demandas para procesos de corte industriales han crecido enormemente entre los años 2000 a 2013. No se exige solamente cifras de producciones más altas y un mejor rendimiento de corte, sino también un potencial para poder elaborar formas muy complejas con un alto grado de exactitud.

El corte a presión de agua es tan fino como un vello humano y produce una incisión mínima. Como resultado de ello hay una pérdida de material mucho más insignificante comparado con los procesos convencionales. El corte de agua a alta presión es garantía de ser especialmente favorable para el medio ambiente. El proceso de corte es limpio, no produce ningún polvo o arena, virutas, o agentes químicos contaminantes.

Un componente esencial del dispositivo de corte es la bomba de alta presión; una bomba de circuito cerrado con un accionamiento hidráulico de aceite. En el primer ciclo la presión del aceite es generada por una bomba hidráulica. Esta se transforma en una alta presión de agua, mediante la acción de un pistón transportador. A través de una operación continua, la bomba de alta presión produce una presión de agua de hasta 3200 bares que fluye por el tubo de mezcla en el cabezal de corte (KMT Waterjet Systems, 2011).

La elección de la correcta presión de trabajo y de los parámetros de operación, influyen de manera importante en el corte, tanto en su capacidad y calidad, como en los costos de operación.

Dentro de los beneficios que ofrece el presente trabajo de graduación, destaca la mejora continua del equipo en la ejecución del mantenimiento de una manera programada y estructurada, aumentando la disponibilidad, rendimiento y calidad del equipo. El proyecto representa un valor agregado para el recurso tecnológico asociado con el que a la fecha de la investigación se cuenta en la empresa.

## JUSTIFICACIÓN

El trabajo de graduación es un documento técnico experimental que complementa la tecnología disponible del equipo, agregando valor al aprendizaje y mejoras en las labores de administración del departamento de mantenimiento. En los años 2000 al 2013, la empresa tiene una fuerte necesidad de constante innovación y mejora en los diferentes productos que ofrece a sus clientes, principalmente en la variedad de diseños, obligando a continuos cambios y al uso de nuevos materiales y tecnología hasta el momento no utilizadas para el corte de sus productos.

La realización de la presente gestión viene dada por la creciente necesidad de servicios de corte, asegurando que el producto demandado sea servido con las tolerancias especificadas por el cliente.

El proyecto beneficia a la empresa para la cual se hace el estudio, porque se pretende crear un manual que sirva de base al departamento de mantenimiento, para poder realizar las actividades de acuerdo con lo requerido, y así, darle seguimiento mediante un programa organizado y bien fundamentado. Del mismo modo, el trabajo de graduación brinda un aporte tangible, mejorando la calidad, rendimiento y disponibilidad del equipo de la empresa.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las máquinas de corte a presión de agua son funcionalmente superiores a las máquinas de corte convencional con las que cuenta la empresa en el año 2011, ofreciendo la ventaja de poder trabajar con una lista mayor de materiales, provocando menor dependencia de empresas de servicios de corte de un estilo en particular, como la empresa Hidrocortes de Guatemala.

Durante la implantación del sistema corte de cuero a presión de agua, no se valoró la inversión inicial en la compra del equipo, ni el costo de inversión en capacitación para el personal involucrado en la operación, reparación y mantenimiento del equipo dentro de la misma empresa, provocando el involucrar constantemente al proveedor de la máquina en la realización de todo tipo de trabajos, e incluso, pagando cantidades elevadas de dinero en la adquisición de técnicos especialistas para realizar las actividades de reparación y mantenimiento.

El planteamiento del problema se basó en las siguientes preguntas:

- ¿Qué se debe considerar al realizar el mantenimiento del sistema de corte de cuero a presión de agua?
- ¿Es adecuado el método para realizar el mantenimiento?
- ¿Cuáles son los pasos a seguir en el mantenimiento del sistema de corte a presión de agua?



## METODOLOGÍA

El área de mantenimiento desarrolla actividades propias de mantenimiento y sus aplicaciones, entre los diferentes equipos existentes dentro de la empresa. El trabajo de graduación ofrece asesoría y soporte en el desarrollo e implementación de nuevas técnicas en la realización del mantenimiento preventivo, para una máquina de corte de cuero a presión de agua.

Para la implementación del mantenimiento preventivo se utilizó el software de mantenimiento MP9, siendo la base principal, la creación del plan de mantenimiento del equipo, involucrando las partes de la máquina, y realizando un desglose de las actividades propias de mantenimiento y frecuencia en tiempo para su ejecución.

Se procedió a implementar el mantenimiento autónomo que comprende las actividades de limpieza, lubricación y ajustes menores; se creó un comité de capacitación, el cual desarrolló un manual básico con una breve explicación del funcionamiento, las partes involucradas y las actividades a realizar por el operario en el equipo.

Realizada la implementación del mantenimiento preventivo y mantenimiento autónomo, se procedió a trabajar en la parte de repuestos, ligando el inventario al software de mantenimiento MP9, estandarizando proveedores, y trabajando con la adquisición de los repuestos críticos sujetos a desgaste, para obtener lo siguiente:

- Mejorar el funcionamiento y la disponibilidad de la misma.

- Posibilidad de que se tenga menos fallas o recurrencias en la máquina. Para realizarlo, se contemplarán los índices de mantenimiento de tiempo medio entre fallas (TMEF) y tiempo medio entre reparaciones (TMPR).
- Coordinar o controlar una serie de actividades, aplicando la técnica de inspección visual y mantenimiento autónomo.
- Asegurar procesos totalmente continuos por medio de secuencias programadas de mantenimiento.
- Analizar, adaptar y crear tecnología en el campo del mantenimiento para el sistema de corte a presión de agua.
- Prestar asesoría entre los diferentes departamentos para estudios de factibilidad tendientes a su modernización dentro de la misma empresa.
- Las fases para realizar la investigación son:
  - Recolección de datos del equipo mediante observación y entrevistas realizadas a los operarios del equipo.
  - Hacer el levantamiento de maquinaria para ver la condición de las partes involucradas en el funcionamiento durante el proceso de producción.
  - Elaborar formatos para el mantenimiento autónomo.
  - Capacitar al personal operativo involucrado en el manejo del equipo

# **1. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL**

El mantenimiento productivo total (TPM) es una técnica avanzada de manufactura que maximiza la eficiencia del equipo utilizado en la producción de bienes y servicios, estableciendo un sistema que previene las pérdidas causadas por fallas en los activos de la empresa. El mantenimiento productivo total se refiere a actividades de mantenimiento donde se involucran todos los empleados y los diferentes departamentos de la empresa (Mantenimiento, Gerencia de operaciones, ingeniería y diseño, Cadena de suministros y Contabilidad).

Brevemente se explican las actividades necesarias que la compañía realizó para preparar el mantenimiento productivo total. Las actividades incluyen un entendimiento claro de lo que significa el TPM (WIREMAN, 2004).

## **1.1. Pasos para la implantación de TPM**

- Comunicación de Gerencia General respecto del compromiso de implementar el TPM.
- Campaña de difusión a toda la empresa de lo que significa el TPM y sus repercusiones entre los diferentes departamentos de la organización. Para realizar la difusión se repartieron trifoliales a todo el personal de la organización con información de lo que significa el TPM y los beneficios de su implementación.

- Creación de diferentes comités que conforman los pilares del TPM:
  - Comité de difusión: es el encargado de difundir y publicar la información de los beneficios del TPM.
  - Comité de capacitación: es el encargado de capacitar a todo el personal operativo en la realización de actividades específicas del mantenimiento autónomo del equipo.
  - Comité de auditoría: es el encargado de velar que las actividades de mantenimiento autónomo sean realizadas de acuerdo con los formatos establecidos por la organización.
  
- Mejora de la efectividad el equipo: estará sujeta a estudio; las pérdidas donde el programa TPM considera realizarlo son:
  - Pérdidas por fallas: ocurren cuando el equipo está sujeto a reparación. Las pérdidas consisten en el tiempo durante el cual el equipo está fuera de uso, la mano de obra y los repuestos involucrados para su reparación.
  - Pérdidas por ajuste en el equipo: son cambios que surgen cuando se cambia de un estilo a otro durante el proceso de producción, o cuando hay cambio entre turno diurno y nocturno. Aquí se incluyen las pérdidas de tiempo por cambio de accesorios, herramientas, materiales y ajustes de maquinaria.
  - Pérdidas de velocidad: se refieren a la reducción o aumento de velocidad de operación de acuerdo con la capacidad del equipo.

- Pérdidas por defectos de calidad: corresponden al producto obtenido durante el todo proceso, que no cumple con las especificaciones normadas por el departamento de calidad. Aquí se incluye el trabajo requerido para reparar el defecto y el costo del material desperdiciado.
- Mantenimiento autónomo: requiere que el operador entienda y conozca su equipo, para poder desarrollar actividades de limpieza lubricación y ajustes menores al mismo (BORRIS, 2006).

## **1.2. Beneficios del TPM**

El concepto de mantenimiento productivo total, la experiencia y los beneficios, se logran mediante un sistema bien implementado. La empresa analizó el impacto que esto generaría e invirtió en un software, el cual es capaz de llevar un control estricto de todos los activos de la empresa. El principio básico es contar con el equipo el mayor tiempo, para cubrir lo planeado en el proceso de producción.

### **1.2.1. Organizativos**

Los procedimientos organizativos se caracterizan por el curso que ha de seguirse en la ejercitación de las actividades, es decir la dinámica de los operarios en relación con la tarea a desarrollar:

- Mejora las condiciones laborales entre los miembros de la empresa
- Control de las funciones designadas al personal operativo
- Motivación del empleado al realizar actividades de mantenimiento
- Búsqueda de disciplina y responsabilidad social y cultural

- Capacitación constante
- Participación y colaboración para lograr los objetivos del TPM
- Comunicación eficaz entre los distintos departamentos de la empresa

### **1.2.2. Seguridad**

La seguridad industrial es el área que se encarga de minimizar los riesgos en la industria.

La tecnología, la capacitación de los trabajadores y los controles permanentes son algunas de las actividades vinculadas a la seguridad en el mantenimiento, cuyo propósito se fundamenta en:

- Mejorar las condiciones ambientales
- Practicar la cultura de prevención de eventos negativos para la salud
- Identificar los problemas potenciales y buscar las acciones correctivas
- Prevenir y eliminar las causas potenciales de accidentes
- Eliminar las fuentes que conducen a la contaminación

### **1.2.3. Productividad**

Se eliminaron de manera definitiva las causas de pérdidas de producción debido a la máquina, se mejoró la disponibilidad para mejorar el flujo de producción. Para lograr la productividad se involucró al personal en la búsqueda de soluciones, se integró el personal de producción y mantenimiento en un solo equipo, donde ambos tienen responsabilidades específicas pero un solo objetivo común, basadas en:

- Disminuir pérdidas durante el proceso de producción

- Aumentar disponibilidad y rendimiento de los activos
- Reducir costos del departamento de mantenimiento
- Incrementar la calidad del producto terminado
- Reducir costo por ajustes o cambios de producto durante el proceso

### **1.3. Objetivos fundamentales del mantenimiento autónomo**

El mantenimiento autónomo se realiza a diario por el personal operativo e incluye actividades de inspección, lubricación, limpieza y ajustes menores, con el objetivo de incrementar la disponibilidad del equipo; incluye las siguientes normas internas:

- Utilizar el equipo para el fin que ha sido creado
- Verificar periódicamente el equipo, evitando el deterioro progresivo
- Lograr mejoras en el funcionamiento del equipo, tales como:
  - Reducir las fallas durante el proceso de producción
  - Incrementar la seguridad en el trabajo
  - Lograr el sentido de pertenencia y responsabilidad del equipo

### **1.4. Mantenimiento planificado**

El propósito del mantenimiento planificado para una planta industrial ubicada en San Miguel Petapa, municipio del departamento de Guatemala consiste en la búsqueda de “cero averías”. El mantenimiento planificado que se practica, presenta entre otras, las siguientes limitaciones:

- No existe información histórica que establezca la frecuencia para realizar las actividades de mantenimiento preventivo.

- La frecuencia fue organizada de acuerdo con la experiencia y recomendaciones por parte del fabricante.
- El mantenimiento preventivo se realiza cuando se presenta una falla en el equipo y es necesaria su reparación.
- La forma de operación del departamento de mantenimiento consiste en generar la orden de trabajo que no indica el tipo de actividad por realizar.
- No existe mantenimiento planificado que incluya actividades de mejora en los activos de la empresa.

### **1.5. Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo es una inspección periódica que sirve para detectar condiciones que pudieran ocasionar fallas al equipo y por consiguiente paros durante el proceso de producción. En otras palabras, el mantenimiento preventivo es la rápida detección y tratamiento de las anomalías del equipo, antes de que causen defectos o pérdidas (PERALTA, 2012).

El mantenimiento preventivo consiste en dos actividades: inspección periódica y restauración del deterioro, con base en los resultados de inspecciones. La rutina de mantenimiento diario se considera como mantenimiento preventivo.

Aquí se analizan las actividades planeadas por el departamento de mantenimiento, ejecutando planes y actividades de restauración en los equipos, Cubre el control de partes a utilizarse durante el mantenimiento, control de lubricación y del presupuesto de mantenimiento.

## **1.6. Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo usa procedimientos de diagnóstico para determinar el estado del equipo o maquinaria. Los pasos que el departamento de mantenimiento utilizará para llevar a cabo el plan son los siguientes:

### **1.6.1. Identificar**

Se identificarán las piezas claves de la máquina que al fallar, implicaría costos altos para la empresa. Para poder implementar el mantenimiento predictivo, se han investigado los puntos claves a analizar en el equipo, para lo cual, se monitoreará lo siguiente:

- Temperatura
- Amperaje
- Resistencia de aislamiento
- Análisis acústico
- Análisis de aceite
- Análisis termográfico

### **1.6.2. Recolección de información**

Se tomará la medición de temperatura y amperaje del equipo; posteriormente se ingresarán los datos al software de mantenimiento preventivo y se comparará con la registrada en el manual y en la etiqueta del equipo. Las mediciones en el equipo se estarán realizando con una frecuencia inicial de 3 meses. Se observarán las lecturas y se compararán con los registros ingresados.

Si hubiere variaciones de los datos recolectados con los ingresados en el software, se estarán investigando las causas y se harán las reparaciones respectivas. Mientras más información se tenga del equipo, con mayor precisión se podrá predecir la necesidad de mantenimiento.

### **1.6.3. Análisis**

Para realizar los análisis de mantenimiento predictivo se contratarán empresas para que efectúen muestreos en los casos específicos de análisis termográfico y muestreo de aceite.

### **1.6.4. Acciones requeridas**

Al realizar las lecturas y análisis requeridos, estas se compararán con los datos del fabricante, y si hubiere variación, se programará mantenimiento correctivo en el software, para proceder a realizar las reparaciones requeridas.

### **1.6.5. Seguimiento**

Después de haber realizado las reparaciones, se tomarán de nuevo las mediciones de amperaje y temperatura en motores y rodamientos, con una frecuencia de 3 meses.

El análisis de aceite se realizará con una frecuencia de 6 meses, para poder confirmar que no hay indicio de falla durante el tiempo en que se opera el equipo.

#### **1.6.6. Cambio de diseño**

Si el equipo requiere atención constante, y si se observa que los costos por reparación son elevados, será necesario modificar, o transmitir a gerencia de operaciones la necesidad de reemplazar el equipo existente.



## **2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO**

El corte mediante flujo de agua a alta presión es uno de los sistemas más modernos e interesantes que existen. La base del sistema es una bomba de agua equipada de un intensificador de presión, con la que se alcanza una presión superior a los 4000 bares y se consigue hacer salir el agua por un orificio de un diámetro aproximado de una décima de milímetro (figura 2). El agua alcanza una velocidad que supera más de tres veces la velocidad del sonido, logrando cortar materiales como cuero y cualquier otro material blando no metálico (KMT Waterjet Systems, 2011).

El éxito del corte por flujo a presión de agua se debe a su gran versatilidad. Su campo de aplicación va en aumento y se cuenta con equipos que cortan materiales como acero al carbono inoxidable, cerámica, mármol, entre otros. El flujo a presión por agua permite cortar con excelente calidad, diversos espesores de acuerdo con la necesidad que exista en el mercado.

La máquina en estudio está compuesta por una cabeza de corte a presión de agua, la cual efectúa un corte automático, con un ciclo continuo de corte, controlada automáticamente por 3 ejes y un sistema automático de carga y descarga del material a cortar (figuras 16 y 17).

La única operación manual ejecutada por el operario, es cargar el material que va a ser cortado en un sistema de transporte y coleccionar las piezas que han sido cortadas

## 2.1. Sistema mecánico

El sistema de corte a presión de agua está integrado por:

- Cabina a prueba de ruido
- Área de corte
- Zona de carga y descarga del material
- Bomba de alta presión
- Sistema de filtración

Figura 1. Sistema de corte



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

Figura 2. **Bomba de alta presión**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

Figura 3. **Sistema de filtración**

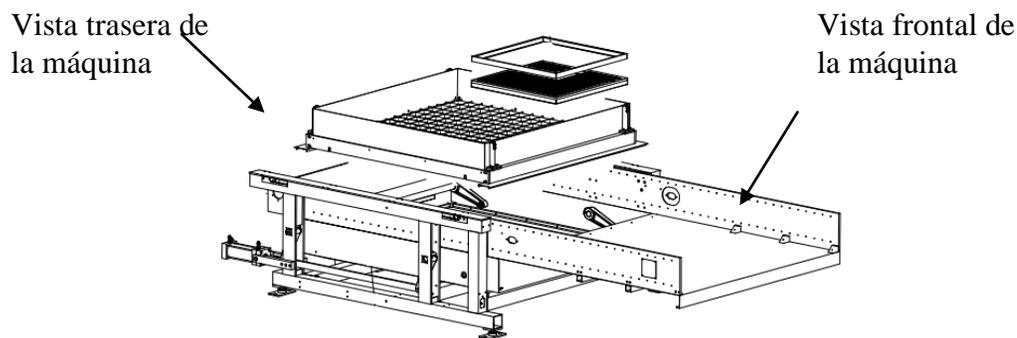


Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

El área de corte está situada en la parte de atrás de la estructura principal de la máquina. La estructura principal que soporte los componentes del área de corte está comprendida de dos barras laterales de acero 19 milímetros de espesor, conectadas entre sí por un espaciador (figura 4). En la parte trasera de la estructura se tiene un depósito de acero inoxidable, el cual recolecta el agua a presión utilizada para el corte, y también el agua de lavado durante el ciclo de corte.

En la parte superior del depósito de agua, se encuentra una sección de metal de acero inoxidable en forma de rejilla, la cual sirve para partir la alta presión del agua al salir del mecanismo de corte.

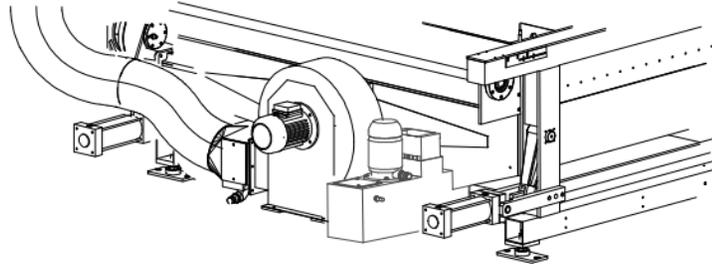
Figura 4. **Estructura principal**



Fuente: Atom, series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.6.

En la parte trasera del depósito recolector del agua de corte a presión y del agua de lavado, se encuentra el grupo bomba-motor, el cual bombea el agua a un sistema de filtro, el cual separa el agua con los residuos de cuero (figura 5). El agua recolectada en el sistema de filtración es enviada por tubería a los pozos de absorción de agua de la empresa.

Figura 5. **Grupo bomba-motor**



Fuente: Atom, series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.9.

Asimismo en la parte trasera del depósito se encuentra un ventilador centrífugo que descarga el vapor acumulado en la cabina, el cual es generado por el agua a alta presión durante el corte. Esto puede observarse en la siguiente figura.

Figura 6. **Ventilador centrífugo**



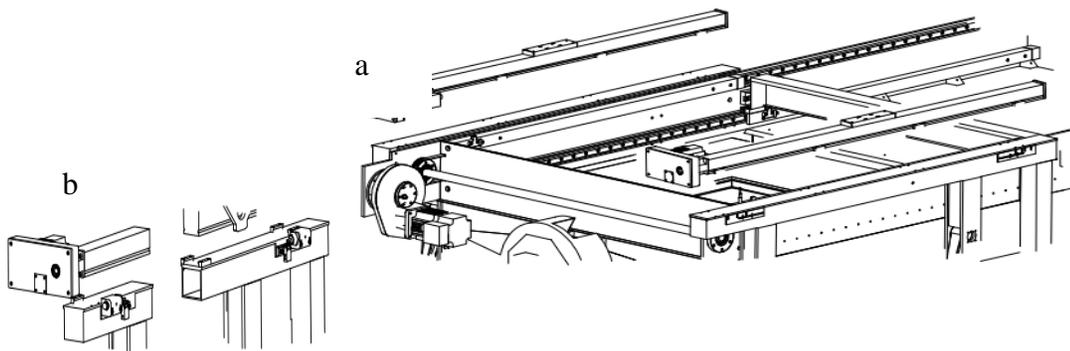
Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

### 2.1.1. Sistema de movimiento de ejes

Posicionados en los laterales de la estructura principal, se encuentran los ejes de tornillo sin fin, que soportan la cabeza de corte (figura 7). Estos ejes altamente resistentes contienen los cojinetes de bolas y guías especiales. Un puente transportador está atornillado a los cojinetes y guías especiales, que sirven para que el puente pueda deslizarse (figura 8). Al final de los ejes, se encuentran motores tipo servo, que están atornillados a los ejes, y los cuales sirven para dar el movimiento al puente transportador en dirección “X”, “Y”.

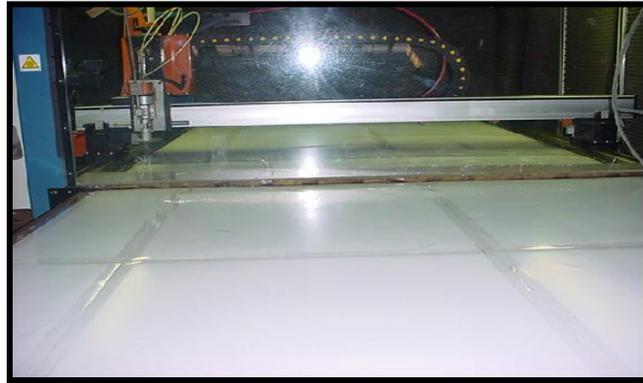
Los motores están asegurados a los ejes, los cuales garantizan el movimiento lineal del puente que soporta la cabeza de corte, y en sus extremos tienen posicionados dos microinterruptores que garantizan un paro de emergencia.

Figura 7. Sistema de ejes



Fuente: Atom, Series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.11.

Figura 8. **Puente transportador**



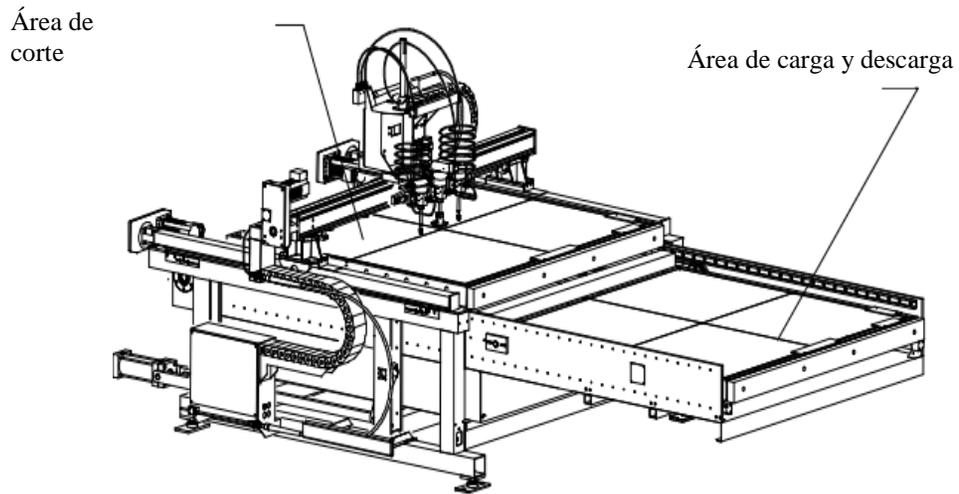
Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

### **2.1.2. Zona de carga y descarga de material**

Una parte integral de la zona de carga y descarga, es el movimiento del grupo de transporte, en cuyo lugar se coloca el material que va a ser trabajado. El sistema está compuesto por guías superior e inferior, ubicados en los laterales de la estructura principal. Las guías son parte de un sistema de movimiento lineal, que garantizan un movimiento silencioso, excelente precisión lineal de movimiento y paralelismo, y tienen un sistema de protección contra objetos extraños que se puedan insertar durante su movimiento.

La zona de carga y descarga es un sistema que consta de transporte inferior y superior, formados por una estructura de acero tipo caja, que contiene una base tipo rejilla formada con puntas tipo aguja (figuras 9 y 10). Cuando se ordena a los *pallets* cambio de posición, el que está ubicado en el área de corte, se mueve a la estación de descarga y viceversa. El movimiento del transporte se realiza por una transmisión mecánica compuesta por un sistema de poleas y fajas de tiempo, las cuales son accionadas por un motor de corriente continua.

Figura 9. **Zona de carga y descarga**



Fuente: Atom, series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.80.

Figura 10. **Vista frontal zona de carga y descarga**



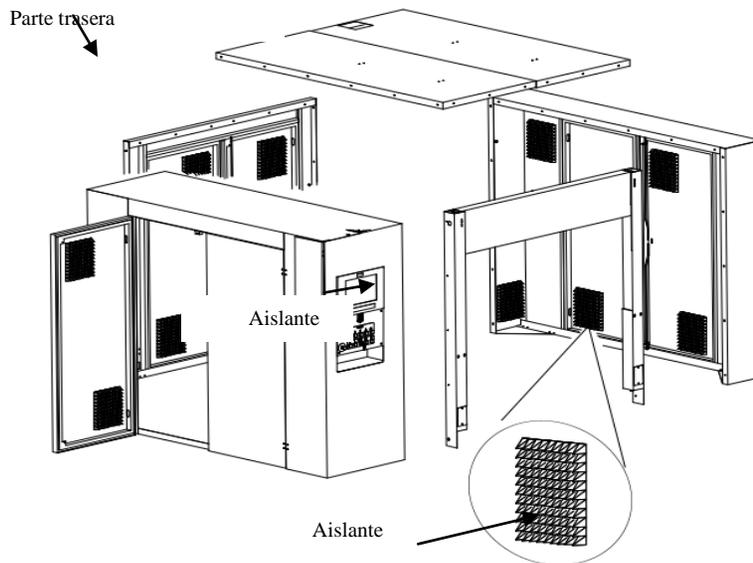
Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

### 2.1.3. Cabina a prueba de sonido

La cabina está construida de metal y atornillada a la estructura principal del área de corte (figura 11). Tiene dos puertas laterales, que sirven de acceso a los componentes mecánicos ubicados en el área de corte.

Asimismo, ligada a la cabina se tiene el panel eléctrico, ubicado en el parte trasera de la cabina (figura 12). Para protección, la cabina tiene instalados unos paneles de un material absorbente al ruido.

Figura 11. Cabina a prueba de sonido



Fuente: Atom, Series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.17.

Figura 12. **Panel eléctrico**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

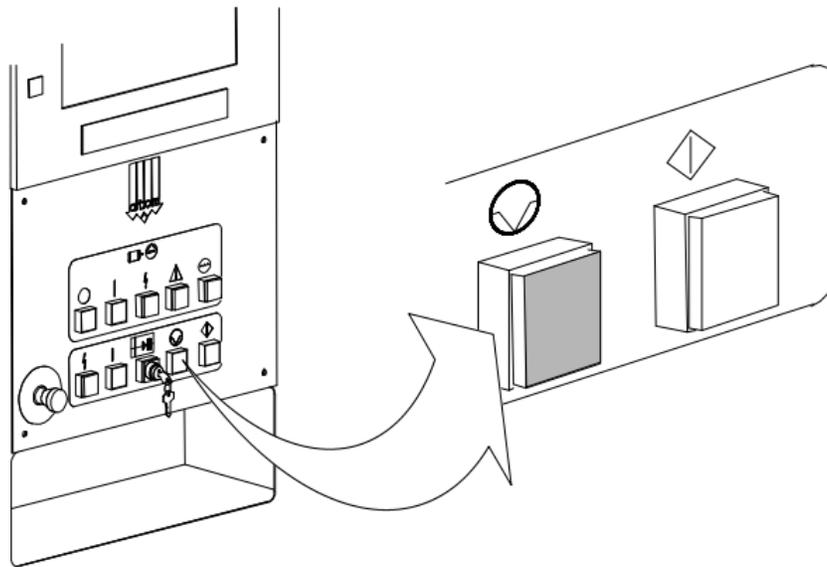
En las puertas de ingreso a la cabina a prueba de sonidos están instalados unos interruptores de emergencia, los cuales desactivan el sistema eléctrico, cuando por algún motivo las puertas han sido abiertas, evitando así, el provocar daños a terceros.

Dentro de la cabina, fijado al techo, se encuentran dos lámparas que sirven para iluminar durante el proceso de corte. Asimismo, también sirven para iluminar las operaciones que se realicen durante las operaciones de mantenimiento. La cabina a prueba de sonidos, también incluye el panel de control, el cual sirve para prender, interrumpir y controlar el ciclo durante el proceso de corte (figura 13).



Para manejar el ciclo de corte, en un gabinete especial hay instalada una computadora tipo industrial, en orden para ingresar cualquier información u otro requerimiento que se necesite.

Figura 13. **Panel de control**



Fuente: Atom, series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.21.



### 3. BOMBA DE ALTA PRESIÓN DE 30 HP

La máquina está equipada con una bomba intensificadora de alta presión de 30 HP para suplir el agua a la cabeza de corte. Esto permite que la presión de agua usada para la cabeza de corte, se incremente arriba de 3800 bares. Esta presión, es la adecuada para alcanzar los niveles apropiados de corte (figura 2).

La bomba intensificadora tiene acoplado a su sistema el gabinete que contiene los componentes eléctricos y de control necesarios para su operación. El interruptor principal está ubicado al lado del gabinete, y es utilizado para energizar y desenergizar eléctricamente el equipo en caso de reparación, servicio y limpieza. El interruptor principal debe ser capaz de interrumpir la corriente y de hacer la función de abrir y cerrar los contactos (figura 14).

Figura 14. **Panel eléctrico de la bomba de alta presión**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

En la figura 15 se visualiza el panel donde se localizan los botones de encendido y control de la operación de la bomba intensificadora (figura 15).

Figura 15. **Panel eléctrico, vista frontal**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

Los botones corresponden a:

- Luz piloto color rojo, que indica alarma causada en la bomba
- Luz piloto color verde, que indica la operación correcta de la bomba
- Pulsador de anclaje color rojo para paro de emergencia
- Luz indicadora de arranque de la bomba intensificadora, la cual indica que la presión está lista para efectuar las operaciones de corte
- Luz indicadora color blanco que identifica la presencia de voltaje en la bomba
- Panel digital

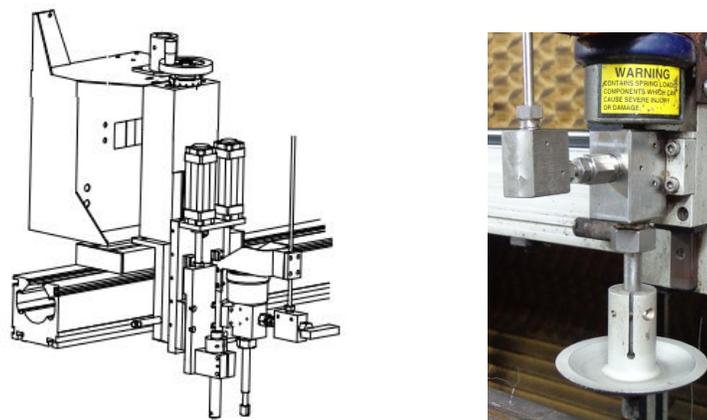
El panel digital muestra al operador la operación, y mensajes de diagnóstico durante el ciclo de trabajo. Si se encontrare un mensaje de error en el panel digital, la luz roja se encenderá. El sistema se restablecerá cuando se haya adoptado las medidas para poder restaurar el equipo y volver a las condiciones de operación. Cuando se haya restaurado el equipo, la luz roja se apagará y el mensaje de error desaparecerá de la pantalla del panel digital.

El corte del material sobre la base del transporte es realizado por una cabeza, posicionada sobre un sistema de ejes, los cuales son activados por software mediante una computadora tipo industrial.

La cabeza de corte está compuesta por un cuerpo principal, montado sobre un carro soportado por unos cojinetes lineales que transmiten un movimiento horizontal sobre una guía (figura 16).

En la parte trasera del cuerpo principal se encuentra una guía que sirve de soporte para darle movimiento vertical a la cabeza de corte.

Figura 16. **Cabezal de corte**



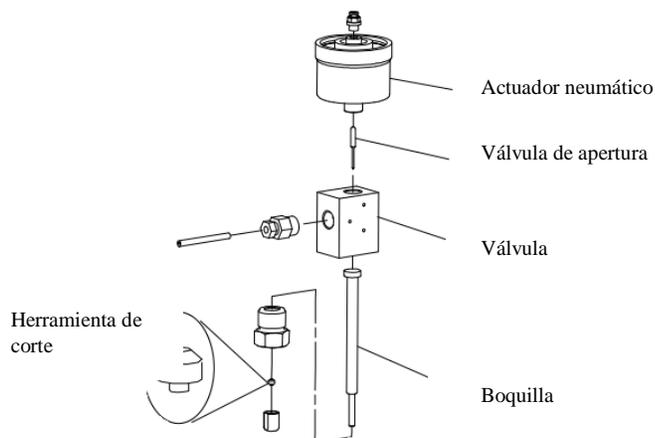
Fuente: Atom, series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.52.

La cabeza de corte está ubicada dentro de la cabina de corte con el objetivo de eliminar el ruido producido por el corte de agua a alta presión. Para poder acceder a la cabeza de corte, es necesario abrir las puertas de la cabina, las cuales están protegidas por un sistema de seguridad, que desenergiza el equipo mecánico y eléctricamente, para evitar provocar daño a terceros.

El grupo de la cabeza de corte está compuesto por un actuador neumático, válvula central, pin de abrir y cerrar el flujo de presión de agua, enviado por la bomba intensificadora, y una herramienta para corte (figura 17). En el grupo de la cabeza de corte, la herramienta está sujeta a desgaste y debe de ser reemplazada. El cálculo aproximado de duración de la boquilla de corte ha sido entre 100 y 150 horas de operación y también debe de ser reemplazado.

Para definir las herramientas a utilizar durante el corte, es necesario tener en cuenta las características del material, la presión de operación y la capacidad de la bomba.

Figura 17. **Desglose de cabezal de corte**



Fuente: Atom, series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.57.

## 4. SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico de la máquina está conectado a un voltaje trifásico de 208 voltios, que ingresa a un interruptor general. Del interruptor general se deriva a transformadores que la convierten a corriente directa y continua de menor voltaje. Se transforma la corriente en sus diferentes aplicaciones con el propósito de que el equipo pueda enviar señal a los distintos mecanismos que el proveedor diseñó para el sistema de trabajo.

Debido a los constantes cortes de energía eléctrica que existen en el área, y a la generación de picos de corriente que existen cuando el servicio es restaurado, partes electrónicas fueron dañadas, por lo que el departamento de mantenimiento vio una oportunidad de mejora en la instalación de supresores de voltaje para evitar riesgos al equipo (figura 18).

Figura 18. **Sistema eléctrico de corte a presión de agua**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

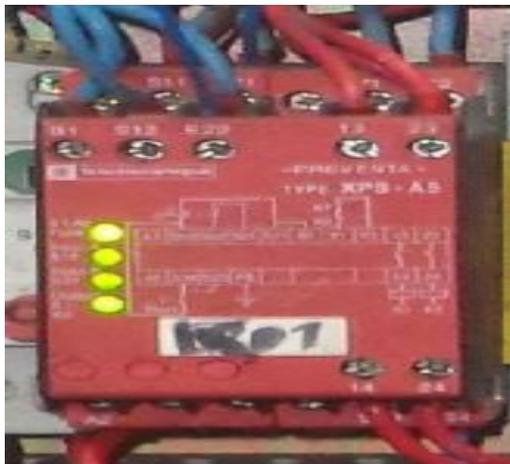
#### 4.1. Circuito de mando

Es el encargado de realizar las tareas dependiendo del autómat, el cual envía la señal para la que ha sido diseñada. En el circuito de mando se pueden establecer varios circuitos internos.

#### 4.2. Circuito de seguridad

Está controlado por un relé inteligente (figura 19). La función es controlar todos los dispositivos periféricos como: seguridad de puertas, paros de emergencia y paro de potencia. Cuando todos los dispositivos periféricos de seguridad están en correcta posición se puede armar el circuito de mando, el cual permite la ejecución de la máquina para el proceso asignado de corte.

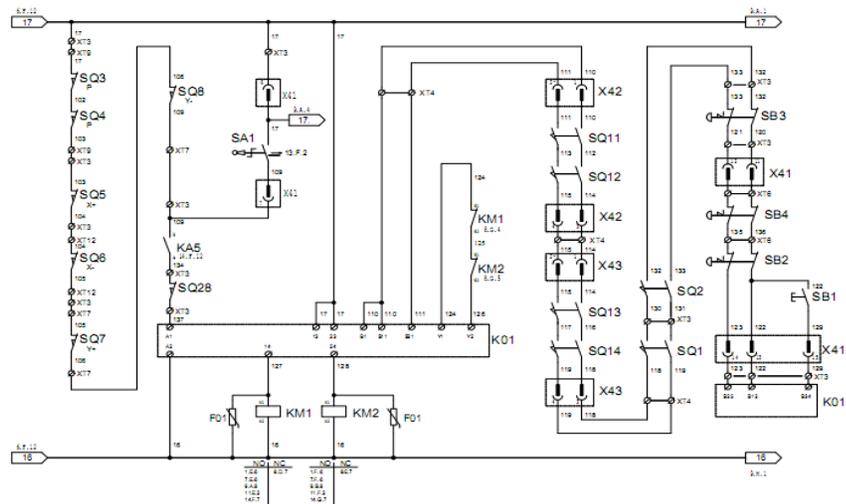
Figura 19. Relé inteligente



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

Se observa el diagrama eléctrico del circuito de mando. La función del circuito de mando, es controlar y bloquear todo el sistema de emergencia, el cual provoca un paro general en la máquina.

Figura 20. Diagrama eléctrico del circuito de mando



Fuente: Atom, series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.80.

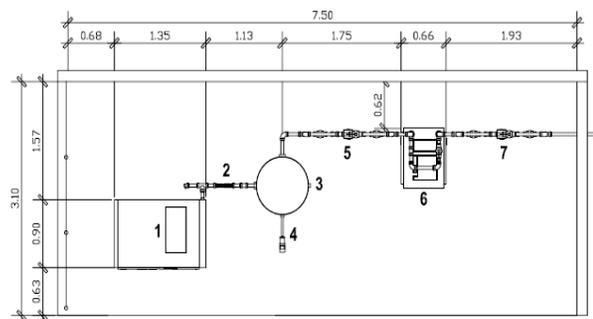


## 5. SISTEMA NEUMÁTICO

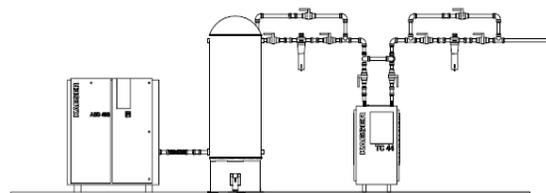
La Neumática, es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos. El aire es un material elástico y por lo tanto al aplicarle una fuerza se comprime, mantiene la compresión, y devuelve la energía acumulada cuando se le permite expandirse (Kaeser compresores, 2009).

Los componentes del sistema neumático básico requeridos para operar el sistema de corte a presión de agua se detallan de acuerdo con el siguiente dibujo (figura 21).

Figura 21. **Componentes del sistema neumático**



PLANTA, SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.



ELEVACION, SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.

Fuente: Kaeser compresores de Guatemala y Cía. Ltda. p.14.

Las partes indicadas en la anterior figura son las siguientes:

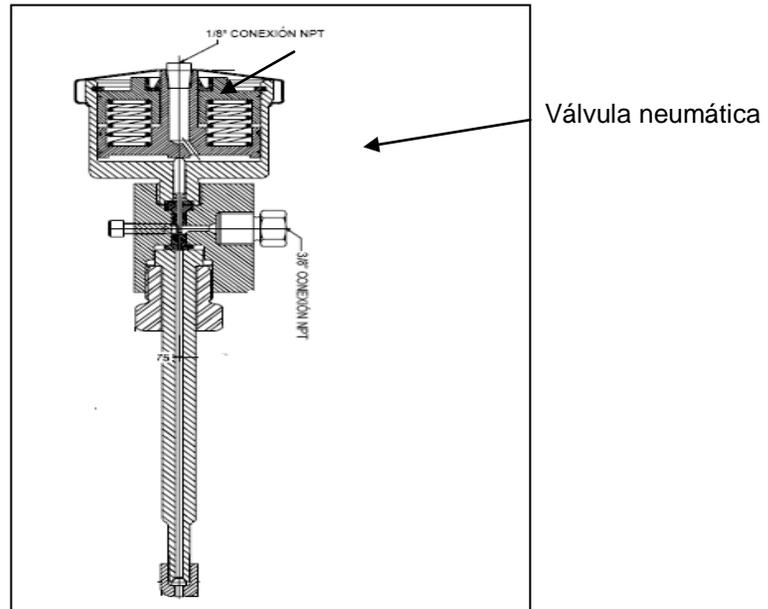
1. Compresor Kaeser modelo ASD40S
2. Conector flexible
3. Tanque de 240 galones
4. Válvula neumática de condensado, marca Ecodrain 12
5. Filtro Kaeser modelo KFS 170
6. Secador de aire marca Kaeser modelo TC44
7. Filtro Kaeser modelo Kor 170

El compresor de aire comprimido está ubicado en un cuarto de 3.10 metros de ancho por 7.50 metros de largo. El aire generado sirve para activar el grupo de cilindros y válvulas neumáticas que activan el paso de agua a presión para las actividades de corte y limpieza de guías de rodamientos durante el movimiento de las partes mecánicas involucradas. La presión de aire que ingresa al equipo debe de tener un mínimo de 7 bares.

En la figura 22 se presenta un esquema que conforma el sistema del cabezal de corte a presión de agua y consiste en una válvula normalmente cerrada, que requiere de presión de aire para abrirse; puede ser usada como válvula de encendido y apagado de alta presión o como componente en un sistema de sangrado y bloqueo, el cual protege los componentes de alta presión de daños por cambio rápido de presión.

Como está normalmente cerrada, la presión del agua se mantendrá uniforme si se pierde la presión de aire, una característica de gran seguridad que prevé una descarga inesperada de agua.

Figura 22. **Válvula del cabezal de corte**



Fuente: Atom, series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.56.



## 6. SISTEMA HIDRÁULICO

Para el funcionamiento del equipo es necesaria la instalación de dos fuentes de agua. Una es para el agua de enfriamiento del sistema hidráulico, y la otra es para corte a presión. Para ambas fuentes de alimentación se debe de contar con una presión de 2 bares.

La fuente de agua para las actividades de corte a presión debe de cumplir con un proceso químico de desmineralización y purificación normado por el fabricante de la máquina. La concentración de sustancias químicas disueltas en el agua, puede causar daño a los componentes, especialmente a la boquilla de corte.

La tabla I muestra los valores permisibles del agua a utilizar durante el proceso de corte a presión:

Tabla I. **Características del agua de corte**

DESCRIPCIÓN	CALIDAD DE AGUA	
	Normal	Óptimo
Filtro	0.5 micrones	0.5 micrones
Alcalinidad (mg/l)	25	10
Calcio (mg/l)	5	0.5
Dióxido de carbono (mg/l)	0	0
Cloro (mg/l)	15	1

Continuación de la tabla I.

Hierro (Fe) (mg/l)	0.1	0.01
Manganeso Mn (mg/l)	0.1	0.1
Magnesio Mg (mg/l)	0.1	0.1
Nitrato (mg/l)	25	10
Oxígeno (mg/l)	1	0.1
pH	6.5-8.5	6.5-8.5
Quartzo (mg/l)	10	1
Sodio (mg/l)	10	1
Sulfato (mg/l)	25	1
CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	10	1
Turbidez	5	1

Fuente: Atom, series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.89.

## **7. MODO DE OPERACIÓN EN FORMA MANUAL Y MEDIDAS DE SEGURIDAD**

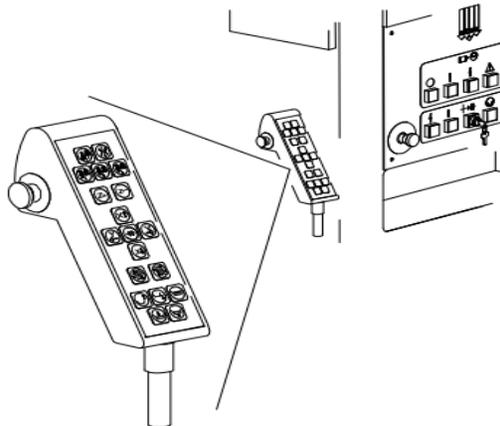
La máquina dispone de un panel de control manual, y se utiliza para realizar y facilitar los movimientos de cada uno de los componentes cuando se ejecutan actividades de mantenimiento. El mecanismo permite las siguientes operaciones relacionadas con el ciclo de trabajo (figura 23):

- Apertura de boquilla de corte: permite abrir y cerrar la boquilla de corte.
- Movimiento vertical de la cabeza de corte: permite el movimiento vertical del cilindro neumático de la cabeza de corte.
- Movimiento del eje “Y+”: controla el movimiento de la cabeza hacia el lado izquierdo de la máquina.
- Movimiento del eje “Y-”: controla el movimiento de la cabeza hacia el lado derecho de la máquina.
- Movimiento del eje “X+”: controla el movimiento de la cabeza hacia el lado trasero de la máquina.
- Movimiento del eje “X-”: controla el movimiento de la cabeza hacia el lado frontal de la máquina.

- Movimiento de pallets: permite el movimiento del transporte en la dirección del área de corte, desde la zona de carga a la descarga y viceversa.
- Llenado del tanque de colector de agua: permite llenar el tanque colector de agua de lavado.
- Vaciado del tanque colector de agua: permite vaciar el tanque colector de agua.

Asimismo, en el accesorio de modo manual, se encuentra un botón de emergencia, el cual sirve para desenergizar el equipo, en caso de alguna situación que genere peligro para el operador.

Figura 23. **Mecanismo de control manual**



Fuente: Atom, series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.109.

La máquina está equipada con los siguientes mecanismos para proteger al operador de cualquier lesión, causada por partes en movimiento durante el proceso de corte.

- Cabina a prueba de sonidos que rodea el motor en sus 4 laterales y en la parte superior.
- Para acceder dentro de la cabina al área de corte, hay puertas con interruptores de seguridad que desenergizan el sistema cuando las mismas son abiertas.
- Protector plástico de 12.7 milímetros de espesor, que permite visualizar dentro del área de corte durante el proceso.

Para acceder dentro de la cabina a prueba de sonidos para realizar actividades de mantenimiento, deben llevarse a cabo las siguientes acciones:

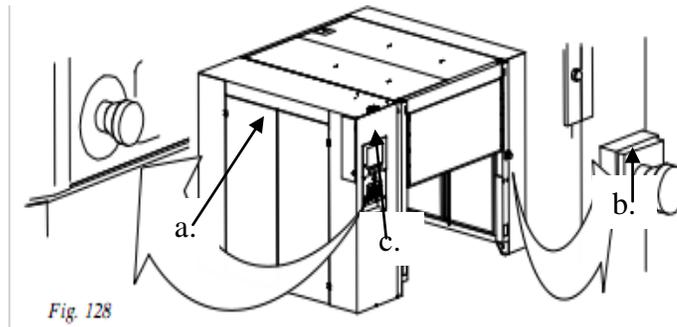
- Apagar la bomba de agua a alta presión.
- Presionar el botón de emergencia ubicado en la parte frontal de la máquina (figura 24).
- Abrir la puerta para poder acceder dentro del área de corte.

Para volver al ciclo de corte proceder de la siguiente forma:

- Cerrar la puerta de la cabina a prueba de sonidos
- Desactivar el botón de emergencia
- Prender la bomba de agua a alta presión

Antes de realizar lo anterior, es necesario verificar que no haya personal dentro del área de corte de la máquina.

Figura 24. **Interruptor de emergencia paro general**



Fuente: Atom, series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.115.

## 8. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento del sistema de corte a presión de agua en sus partes móviles se realiza de la siguiente forma: se escoge en el sistema el modo de operación de forma manual. Se debe de enviar el sistema de corte a su posición cero. Esto significa que las partes en movimiento se ubican de manera que el operario pueda realizar actividades de desmontaje y posteriormente montaje del mecanismo al cual se le quiera dar mantenimiento.

Una vez enviado el sistema a su posición “cero”, se procede a desmontar el sistema de transporte de material. Para realizar el desmontaje de los mismos, se deben instalar unas argollas en las 4 esquinas de la base del transporte, y levantarlo con un montacargas. Durante la instalación inicial de la máquina no se contempló el espacio suficiente para poder utilizar un montacargas, por lo que el desmontaje del transporte debe de realizarse de forma manual (figura 25).

Figura 25. **Desmontaje de transporte de material**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

Debido al peso del transporte, el desmontaje involucra el tener que hacerse con un grupo de seis personas. El transporte deberá de levantarse y sacarse de la máquina en forma recta, por la parte de enfrente de la máquina (figura 26).

Figura 26. **Desmontaje de sistema de transporte**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

Deberá de colocarse en el piso con el máximo cuidado y proceder a la limpieza de las rejillas que rompen el agua a presión. Posteriormente se lija y se aplica pintura en su estructura para evitar la corrosión (figura 27).

Figura 27. **Cuidados en el sistema de transporte**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

### **8.1. Limpieza de tolva**

Después de haber retirado el sistema de transporte de material, se deberá de realizar la limpieza de la tolva. Esta se realiza con una escoba, quitando toda la suciedad que se encuentra en la misma, y posteriormente se limpia con jabón del tipo industrial, para eliminar el residuo adherido a superficie de la tolva (figura 28).

Figura 28. Limpieza de tolva



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

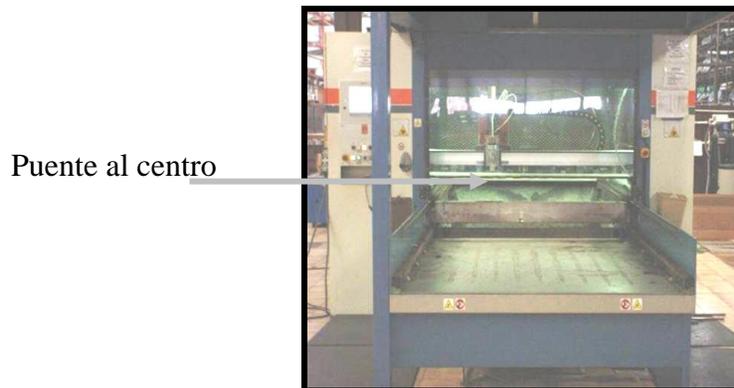
### **8.2. Desmontaje de puente**

El puente es un protector de acero inoxidable que está ubicado en el transporte inferior (figuras 29 y 30). El objetivo es actuar como protector para evitar que objetos extraños sean introducidos en el área, durante el proceso de corte a presión de agua.

Pasos a seguir para retiro del puente: quitar los tornillos que lo sostienen en los extremos con una llave hexagonal de 4 mm. Tomar medidas del riel del transporte a la orilla del chasis del lado interior de la máquina (debe de medir 2334 mm).

Se debe mover el puente hacia el lado de enfrente de la máquina para proceder al retiro del mismo.

Figura 29. **Ubicación del puente**

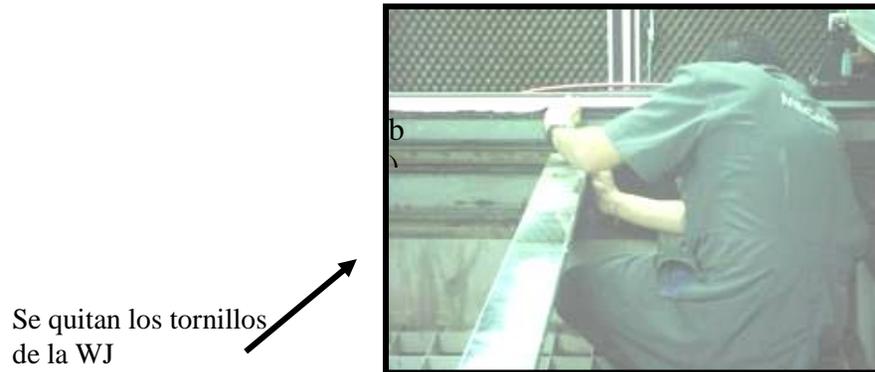


Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

Debido a la corrosión ocasionada por el agua utilizada en el corte a presión, es necesario utilizar líquido penetrante para sacar los tornillos.

Originalmente se usaban tornillos de acero al carbono, los cuales fueron reemplazados por tornillos de acero inoxidable.

Figura 30. **Instalación del puente**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

### 8.3. **Faja dentada**

La faja dentada es el medio que se utiliza para realizar el movimiento en el mecanismo del transporte. Su material es de nylon y en su interior lleva un alma de acero que la hace resistente al agua y al calor generado por el agua de corte a presión. Es muy importante marcar la faja dentada; al quitarla y al instalarla es necesario dejarla en la misma posición, para no variar la distancia y el tiempo en el mecanismo del transporte.

Para realizar el desmontaje de la faja, se procede de la siguiente manera:

- Quitar los protectores de las poleas que sirven de transporte para la faja dentada.
- Eliminar tensión de fajas dentadas. Para realizar esto, en el extremo frontal de la máquina se tienen 2 tensores que sirven para ajustar las fajas dentadas.

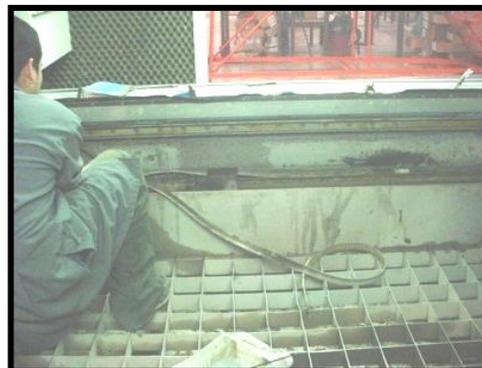
- Una vez flojas, en el área de corte, se ubica un mecanismo metálico dentado que se acopla directamente a los dientes de la faja, y sirve para unirla a los rieles del transporte (figura 31, a y b). Una vez eliminado el mecanismo dentado se procede a retirar la faja.

Figura 31. **Protectores de polea**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

Figura 32. **Tensores para fajas dentadas**

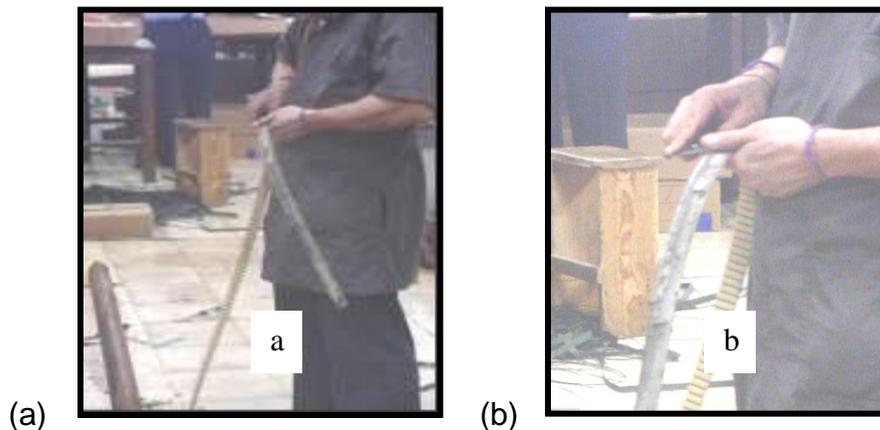


Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

#### 8.4. Revisión de faja dentada

Una vez se ha sacado la faja dentada, se procede a su limpieza y revisión, con el único fin de lograr encontrar alguna falla o rotura en la misma. Al presentarse una falla debe de reemplazarse (figura 32, a y b).

Figura 33. Revisión de faja dentada



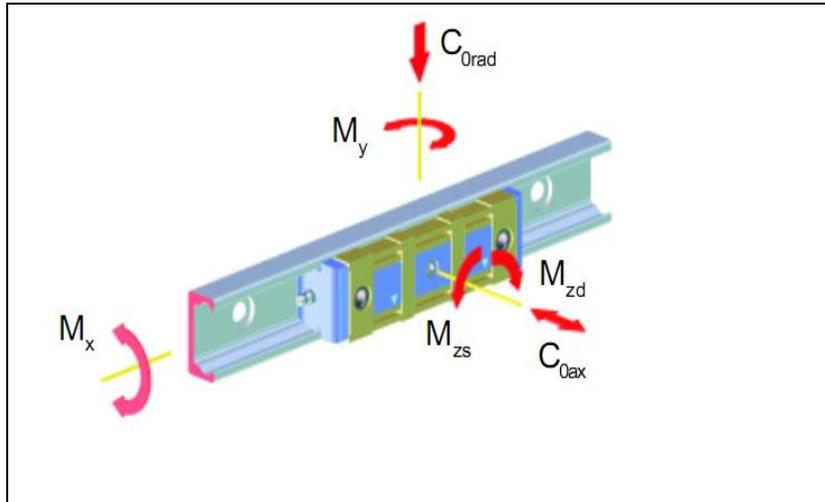
Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

#### 8.5. Desmonte de rieles

El riel es el mecanismo que soporta el peso del transporte, y sirve de base para el transporte de los mismos, mediante unos rodamientos especiales de la marca Rollon NT43 (figura 33). Se inicia quitando el mecanismo dentado que sujeta la banda al riel, se libera, y se desliza hacia el frente de la máquina.

Una vez afuera, se procede con la limpieza, revisión por corrosión y pintura. Asimismo se procede a reemplazar los rodamientos que le dan el movimiento de entrar y salir al sistema de transporte (figura 34).

Figura 34. **Riel para deslizamiento de rodamiento Rollon NT43**



Fuente: <http://www.rollon.com/USA/rollon.htm> Rollon. Consulta: octubre de 2013.

Figura 35. **Desmante de riel**

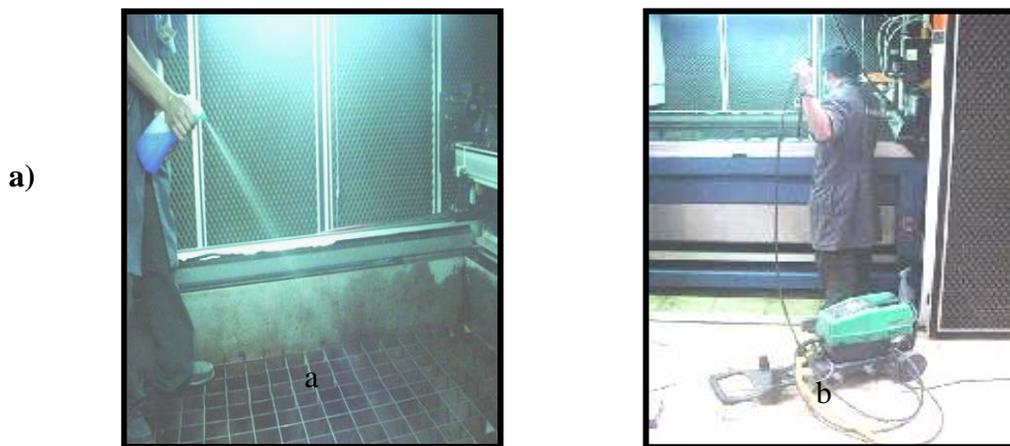


Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

## 8.6. Limpieza de canasta

Para la limpieza de la canasta y sus rejillas, se rocía con un líquido desengrasante base agua y se procede a limpiar con una espátula para raspar todo el material adherido a la superficie de la misma. Posteriormente se emplea una pistola a presión de agua para garantizar que la canasta se encuentra totalmente limpia. Asimismo se revisa por alguna picadura en su depósito, para evitar fugas de agua durante el proceso de corte a presión (figura 36, a y b).

Figura 36. Limpieza de canasta



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

## 8.7. Desmontaje y evaluación de rodamientos

Realizado el desmonte de los rieles, se deben quitar los rodamientos y proceder a su reemplazo. Debido a la condición en que se han encontrado, bajo ninguna circunstancia es recomendable instalar los mismos rodamientos (figura 37). Se debe de proceder al cambio de los 8 rodamientos involucrados en el movimiento de los rieles de transporte.

La frecuencia determinada para realizar el cambio de los rodamientos es de 6 meses. Esto se determinó con base en los últimos servicios de mantenimiento preventivo previamente planificados.

Figura 37. **Rodamiento**



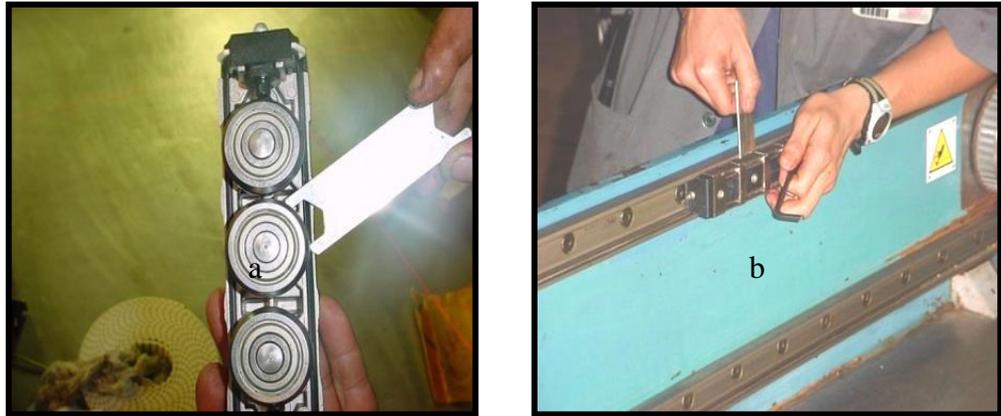
Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

### **8.8. Instalación y calibre de rodamientos**

Una vez realizados los trabajos de limpieza, y después de haber verificado que todo está conforme a lo deseado durante la realización del mantenimiento, se procede a realizar el ensamble de todo el sistema.

Primero se calibran los rodamientos en su canal de deslizamiento. Debido a que es un rodamiento de 3 ruedas, la rueda de en medio tiene un tornillo tipo excéntrico, que sirve para realizar el ajuste del rodamiento en su canal de deslizamiento. El objetivo es evitar el juego del rodamiento en el canal, logrando que este se encuentre realizando su trabajo de forma vertical (figura 38).

Figura 38. **Calibre de rodamientos**



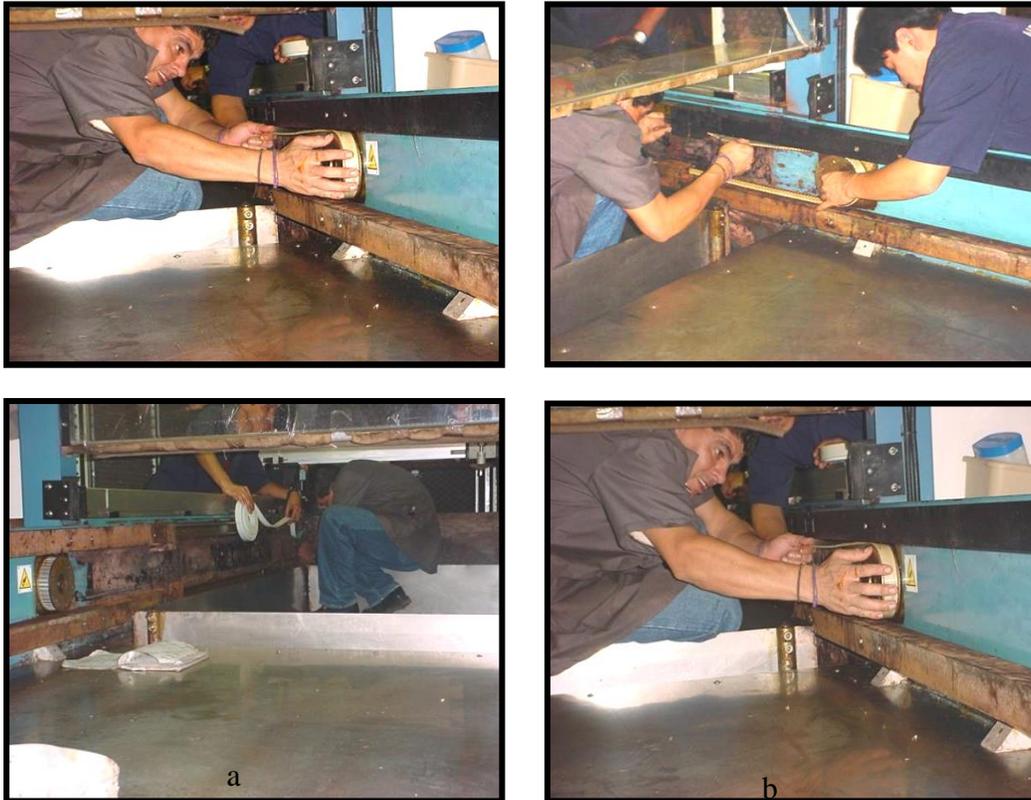
Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

### **8.9. Instalación de faja dentada**

Se debe verificar que la faja que va a instalarse tenga 5800 milímetros de largo y que el tamaño del diente y el paso entre dientes sean de 10 milímetros (figura 39).

Es necesario calibrar la faja midiendo la distancia de 2330 milímetros de la pared del lado de adentro, al filo de los rieles del lado inferior del transporte.

Figura 39. **Instalación de faja dentada**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

Se deberá de correr la cabeza a posición cero para empezar a colocar la faja dentada en la parte de atrás de la máquina. Posteriormente, al estar colocada, en dicho lado se deberá de correr la cabeza hacia la parte de atrás y dejarla en medio de la carrera de los rieles del transporte del material.

Instalar la faja dentada a lo largo del sistema de rieles y pasarla a través de la polea loca dentada; luego el protector de la polea loca dentada; colocar los tornillos para apretarla y proceder a tensar la faja.

### 8.10. Lubricación de rodamientos

A cada uno de los rodamientos se les aplica grasa resistente al agua y alta temperatura de la marca Goldwin-41 Lubefax, o alguna equivalente existente en el mercado, para evitar oxidación y corrosión en el sistema riel y rodamiento, y permitir un deslizamiento suave en el recorrido del transporte del material (figura 40).

Figura 40. Lubricación de rodamientos

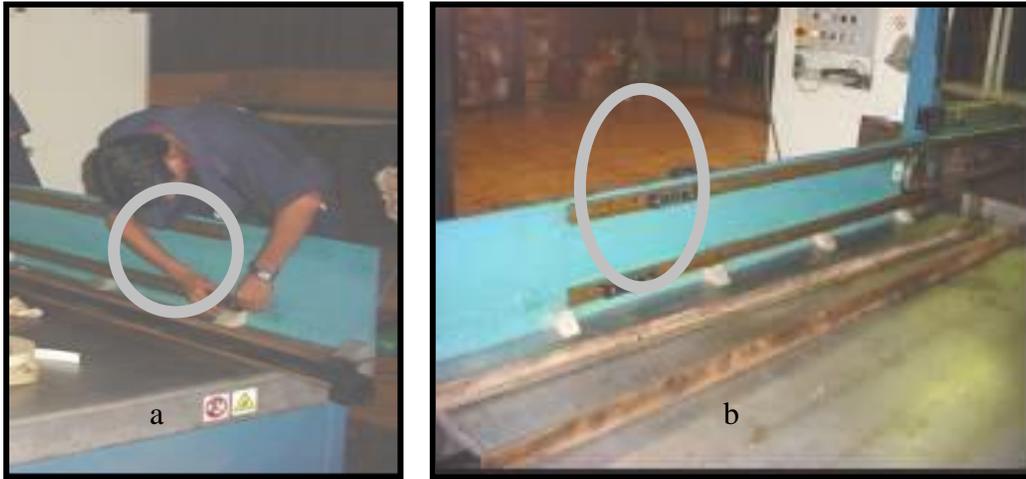


Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

### 8.11. Instalación de rodamientos

Una vez instalada la faja dentada, se procede a introducir los rodamientos por los extremos del riel Rollon NT43 (figura 41). Una vez instalados, se procede a colocar la base que soporta el transporte del material, la cual va adherida a los rodamientos.

Figura 41. **Instalación de rodamientos**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

### **8.12. Engrase e instalación de rieles**

Se debe de engrasar los rieles donde van instalados los rodamientos con una brocha o de forma manual con grasa de la marca Goldwip-41 Lubefax o su equivalente en el mercado, para resistir humedad y alta temperatura.

El objetivo es permitir un suave deslizamiento y evitar oxidación y corrosión, causada por el agua utilizada durante el proceso de corte (figura 42).

Figura 42. **Lubricación de rieles**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

### 8.13. **Inspección de riel de transporte de material**

Una vez instalada la base de soporte del transporte, se debe de probar el deslizamiento del mismo de forma manual, para verificar que el rodamiento no se trabe en alguna parte del riel interno. Asimismo, debe de verificarse que no haya juego axial en el cojinete, que ocasione desbalance en el transporte del *pallet*. Si hubiese juego axial, debe de corregirse inmediatamente, ajustando el rodamiento (figura 43).

Figura 43. **Inspección de riel de transporte**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

#### **8.14. Limpieza de transporte de material**

Realizar la limpieza del transporte de material raspando con espátula todo el residuo de cuero que ha sido adherido durante el proceso de corte, raspando las divisiones inferiores del transporte de material con un cepillo de alambre (figura 43). Posteriormente se procede a soplar con aire comprimido para eliminar la suciedad restante.

Figura 44. **Limpieza de transporte de material**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

### 8.15. Instalación de transporte de material

Los *pallets* deberán de colocarse de la misma forma en que fueron extraídos de la máquina. Para el transporte del material se procede de la siguiente manera:

- Encender la máquina y poner la en modo manual;
- Poner el sistema de transporte en posición cero;
- Instalar transporte de material inferior (figura 45);
- Con el control de modo manual ingresar el transporte de material inferior a su posición de corte;
- Automáticamente, los rieles que mueven el transporte superior salen a su posición de carga de material;
- Instalar el transporte de material superior;
- Con el control manual de PLC, enviar la señal de movimiento de ingreso y egreso del transporte del material, para verificar que el movimiento se realiza de forma suave.

Figura 45. **Instalación de transporte de material**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

## **8.16. Mantenimiento de motor, bomba y filtro**

Terminado el mantenimiento del área de corte y la estación de carga y descarga del material, se deberá de realizar mantenimiento a los motores, bomba y filtro que están ubicados en la parte de atrás del equipo.

### **8.16.1. Mantenimiento bomba de agua**

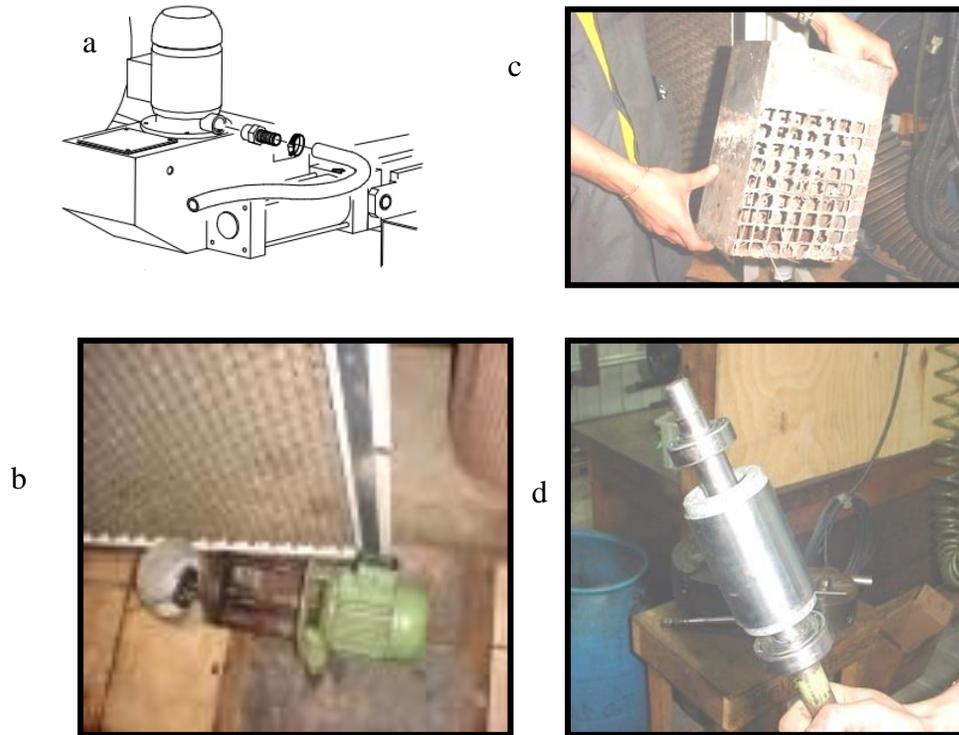
La bomba de extracción del agua y sistema de filtro utilizada durante el proceso de corte, se encuentra ubicada en la parte trasera de la máquina (figura 46).

Durante el mantenimiento preventivo, se verifica el embobinado del motor y se reemplazan los rodamientos.

Asimismo, se verifican las aspas de la bomba, para verificar el desgaste provocado por el constante roce de los residuos de cuero, se quita el filtro recolector de residuos, se limpia y se vuelve a instalar.

La limpieza del filtro debe de realizarse a diario para garantizar el flujo del agua al sistema de drenaje.

Figura 46. **Bomba de extracción y filtro**



Fuente: Atom, series Waterjet Cutting System Model Flashjet 1600/2000. p.134;  
Empresa Accesorios Globales S.A.

### 8.16.2. **Mantenimiento de la turbina**

La turbina está compuesta por un motor, carcasa y ventilador centrífugo. El objetivo del sistema, es poder extraer los vapores generados por el corte a presión de agua. Los pasos para realizar el mantenimiento a realizar es el siguiente:

- Quitar motor, y llevarlo al departamento de mantenimiento, para revisión interna;

- Verificar el embobinado del motor y que el mismo se encuentre en buenas condiciones;
- Reemplazar rodamientos del motor;
- Verificar que las tapaderas de los extremos del motor no presenten desgaste causado por el roce de rodamientos dañados;
- Quitar la tapadera exterior de la carcasa del aspirador, y realizar limpieza profunda de los residuos que se han adherido durante el proceso de corte (figura 46).

Figura 47. **Mantenimiento de turbina**



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

Una vez realizadas las actividades de mantenimiento del sistema de bomba y aspirador centrífugo, se procede a ensamblar, para tener el equipo disponible durante el proceso de producción.

### **8.16.3. Reemplazo de filtros**

El sistema de corte a presión de agua, consta de un filtro de carbón activado, y un filtro de 5 micrones antes del ingreso al sistema de tratamiento de agua.

El objetivo de los filtros es retener suciedad y algunos minerales antes del ingreso a los recipientes del agua que posteriormente tendrá que ser tratada, para poder utilizarla durante el proceso de corte a presión de agua.



## **9. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CORTE A PRESIÓN DE AGUA**

Entre las mejoras realizadas al sistema de corte a presión de agua están:

- Optimizar el sistema de filtración de residuos a la salida del agua de drenaje, utilizada durante el proceso de corte. Para proteger el medio ambiente, es necesario que el residuo generado durante el proceso de corte sea enviado a los pozos de absorción de la forma más clara y limpia posible. Para esto se instaló un sistema de filtración, que utiliza un rollo de papel filtro de 25 micrones, el cual retiene todo el sólido generado durante el proceso de corte.
- El filtro está constituido de un telaje de acero al carbono, sobre el cual están fijados el árbol del motor y el de reenvío con integradores y ruedas dentadas, un transporte soportado por dos cadenas fabricadas de nylon sobre varillas de acero, y sobre las mismas se instala un rollo de papel filtro, que es el que colecta todo el residuo enviado durante el proceso de corte. El avance del papel filtro y transportador se realiza por medio de un sensor de nivel de agua y sólido, instalado en la parte superior del transporte, que activa el giro del motor-reductor de forma lenta, cuando el nivel ha excedido el límite (figura 48).

Figura 48. Sistema de filtración



Fuente: Empresa Accesorios Globales S.A.

- Implementación del programa de mantenimiento autónomo: para el desarrollo del mantenimiento autónomo se creó un comité de capacitación, el cual desarrolló un manual básico con una breve explicación del funcionamiento, las partes involucradas y las actividades a realizar por el operario en el equipo (ver anexo).
- Mejora en el inventario de repuestos: para llevar un buen manejo de inventarios, se tomará en cuenta el tiempo necesario y requerido para:
  - Obtener los repuestos y/o materiales
  - Encontrar materiales sustitutos
  - Hallar los repuestos en almacenes locales
  - Tramitar la orden de compra

Con base en los factores anteriores, el departamento de mantenimiento evaluó tener repuestos disponibles en bodega, antes de que el trabajo sea ejecutado. Esto quiere decir que los retrasos deben de ser eliminados, y a la vez toda la información del inventario debe de estar actualizada.

Los puntos que se consideraron para llevar un buen control del inventario son los siguientes:

- Mantenerlo actualizado y asociado al plan de mantenimiento preventivo.
- Elaborar un listado de piezas por equipo.
- Disponer de costos e historial del movimiento de repuestos.
- La persona encargada de bodega de repuestos debe de notificar cuando hay un repuesto de reciente ingreso y que se necesite.
- El encargado de bodega de repuestos debe de estar en comunicación constante con el departamento de compras, para tener un control de rastrear los pedidos y las órdenes de compra.
- El jefe de bodega debe de presentar al departamento de mantenimiento, informes quincenales sobre costo total del inventario, volumen de movimientos y piezas fuera de existencia; así como trabajar en conjunto con el supervisor de mantenimiento para ver los equipos que están fuera de uso y si hubiere repuestos involucrados de dichos equipos, se verá la manera de poder reutilizarlos en otros.

Entre los pasos que se utilizaron para reducir los costos del inventario están:

- Estandarizar proveedores.
- Agrupar las partes críticas, manteniendo un mínimo y máximo de repuestos.
- Mejorar los procesos de necesidades de partes no previstas.
- Evaluar y optimizar pedido de partes y piezas, analizando si lo requerido concuerda con base en el *stock* de mínimos requeridos en la bodega de repuestos.
- El mantenimiento preventivo está programado con una frecuencia de 6 meses: se necesita un total de 16 horas, y de 5 personas distribuidas en actividades de limpieza, inspección y lubricación para poder realizarlo. Las partes principales involucradas para el cambio son: rodamientos, boquillas de corte, sellos para agua y aceite, filtros para agua y aceite, aceite hidráulico e insumos. El programa se lleva mediante software MP-9, versión empresarial, y permite llevar un control estricto de las partes involucradas en el equipo, así como determinar frecuencias de cambio, fechas, y prioridad para realizar las actividades que han sido determinadas.

## CONCLUSIONES

1. Realizado el análisis para el funcionamiento de la máquina de corte a presión de agua, se identificaron los problemas de corrosión y falta de lubricación que presentaba el equipo en la mayor parte de sus componentes. El mantenimiento preventivo, restauración y las modificaciones realizadas al mismo, incrementó la disponibilidad y rendimiento en el área de producción para la cual fue adquirida.
2. El sistema de rieles y cojinetes de transporte se reemplazaba cada año, pero se encontró la forma de incrementar la vida útil de los mismos. Se verificó que la carga soportada era solamente de un lado, estando la otra intacta. El beneficio que se obtuvo fue que al rotar los rieles y aumentar por consiguiente la frecuencia de cambio, se redujeron los costos en el reemplazo de partes.
3. Se desarrolló el plan de mantenimiento para la máquina, el cual servirá de apoyo para el personal técnico de la empresa; las actividades y procedimientos descritos servirán para aumentar la vida útil del equipo, cumpliendo con las frecuencias de trabajo establecidas.



## RECOMENDACIONES

1. Es necesario realizar inducciones de operatividad a todo el personal involucrado con la operación y el mantenimiento de la máquina.
2. En cada turno de producción debe haber un operador responsable de la máquina, que conozca a profundidad su funcionamiento.
3. Es conveniente realizar el mantenimiento, de acuerdo con lo establecido en el trabajo de graduación.
4. Para la intervención de la máquina, debe involucrarse al personal del departamento de seguridad industrial, utilizando el procedimiento de bloqueo y etiquetado en los paneles de energía presente.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BORRIS, Steve, *Total productive maintenance*. USA: McGraw Hill Publisher, 2006. 448 p.
2. *Corte mediante ahorro de agua-abrasivo*. [en línea]. [http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=SO718-025X2004000100006 &script=sciarltext](http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=SO718-025X2004000100006&script=sciarltext). [Consulta: septiembre de 2013].
3. Cutting System, Model Flashjet. *Manual de sistema de corte atom, series WJ*. Italia, 2000. 224 p.
4. DREYER, Stefan. *ABB I-R Robotized Waterjet AB*. Grüner Weg 6. D-61169 Friedberg, Alemania, 2002. 38 p.
5. ESPINOZA ELIZONDO, José Pedro. *Curso de operación y gestión de la producción*. Escuela de Negocios de dirección y administración de empresas. Fundación Universidad Empresa. Región de Murcia, 2007.
6. Facet Italiana S.P.A. *Manual de uso y mantenimiento a tejido filtrante, modelo Kristal FB*. Italia, 2009. 25 p.
7. *Industrias textiles*. [en línea]. [<www.oficinadetreball.oat/socweb/export/siles/default/...ca/.../RP\\_1.pdf>](http://www.oficinadetreball.oat/socweb/export/siles/default/...ca/.../RP_1.pdf). [Consulta: septiembre de 2013].

8. INDURA. *Manual de mantenimiento*. [en línea].  
<[www.indura.net/\\_file/file\\_1774\\_manualmantenimientoindura.pdf](http://www.indura.net/_file/file_1774_manualmantenimientoindura.pdf)>.  
[Consulta: octubre de 2013].
9. Kaeser compresores de Guatemala. Seminario sobre compresores, 2009.
10. KMT Waterjet Systems *Operation and Service, Manual S-30*. Manual No. 05110796 Rev. 3. November, 2011. 115 p.
11. KOVACEVIC R. *Principles of water jet machining* springer-Verlang, Berlin, 1998. 376 p.
12. MANRESA, Felipe. *Implantación de una empresa de corte por agua* UPC-EPSEM, 2007. 61 p.
13. *Máquinas de corte por chorro de agua*. [en línea].  
<[www.interempresas.net](http://www.interempresas.net)>. [Consulta: agosto de 2013].
14. ORTEGA POZO, Daniel. *Implantación de una empresa de corte por agua a presión y láser*. [en línea].  
<<http://upcommons.upc.edu/bitstream/2099.1/3903/2/55856-1.pdf>>.[Consulta: agosto de 2013].
15. PERALTA, Manuel. *Gestión de mantenimiento, segundo segmento módulo II*. Cámara de Comercio de Bogotá. [en línea].  
<<http://es.scribd.com/doc/81099738/gestiondemantenimiento>>.  
[Consulta: noviembre de 2013].

16. Rollon linear evolution. *Compact rail*. [en línea]. <[www.rollon.com](http://www.rollon.com)> [Consulta: noviembre de 2013].
17. *Seminario de instrucción mantenimiento productivo total, SIMADS-1 SIMP01, 1987*. [en línea]. <[www.geocities.ws/sima\\_tpm/Simaseminartpm.html](http://www.geocities.ws/sima_tpm/Simaseminartpm.html)>. [Consulta: noviembre de 2013].
18. SERRANO, Julio. *Tecnología mecánica: procesos de conformado por arranque de viruta y soldadura de metales*. Publicación Universitat Jaume I. [en línea]. <[www.ecured.cu/index.php/Corteconchorrodeagua](http://www.ecured.cu/index.php/Corteconchorrodeagua)>. [Consulta: agosto de 2013].
19. Southern Methodist University, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Richardson-Texas. *Centro de investigación en manufactura avanzada*. [en línea]. [www.engr.smu.edu/rcam/research/waterjet](http://www.engr.smu.edu/rcam/research/waterjet). [Consulta: septiembre de 2013].
20. STIHL. *Trabajo de forma segura con máquinas de corte*. [en línea]. <[http://www.stihl.de/safety\\_manuals/usa\\_sp/Trennschleifgeraet\\_US\\_spanisch.pdf](http://www.stihl.de/safety_manuals/usa_sp/Trennschleifgeraet_US_spanisch.pdf)>. [Consulta: agosto de 2013].
21. VHYMEISTER FRANCO, Alex Fabián. *Corte mediante chorro de agua abrasivo*. Valdivia, Chile. [en línea]. <[mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0718-025X2004000100006](http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0718-025X2004000100006)>. [Consulta: agosto de 2013].

22. WIREMAN, Terry. *Total productive maintenance*. 2a ed. USA, 2004.  
224 p.

# APÉNDICES

## Apéndice 1. Formato de mantenimiento autónomo

	<b>PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ACCESORIOS GLOBALES S.A.</b>
---	--

<b>AÑO:</b> 2012
------------------

<b>CONTOS 1</b>	<b>DATOS DEL EQUIPO</b>
-----------------	-------------------------



<b>Código TATA</b>	378
<b>Marca</b>	Blum
<b>Modelo</b>	Flackj-1
<b>No. de Serie</b>	1885415
<b>Capacidad</b>	
<b>Lugar de uso</b>	Corte
<b>Responsable</b>	

Mantenimiento Autónomo					
ITEM	PARTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	MINUTOS	SEMANA 1
1	Limpieza general	Limpieza general externa de la máquina.	Diario	10	
2	Sistema neumático	Verificar que el manómetro tenga la presión adecuada. Reparar las fugas de aire.	Diario	2	
2	Lubricación	Lubricar con aceite los puntos marcados con color rojo.	Diario	20	
3	Tratamiento de Agua	Verificar por el nivel adecuado de los depósitos de agua	Diario	5	
4	Protectores de Seguridad	Limpieza de cada una de las partes y verificar que no estén dañados	Diario	5	
5	Papel filtrante	Reemplazar el papel filtrante de los residuos de cuero.	Diario	10	
6	Sensores	Limpiar con un paño libre de grasa los sensores.	Diario	10	
<b>TOTAL</b>				<b>62</b>	

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Plan de mantenimiento preventivo

PLAN WATERJET

Plan: **PLAN WATERJET** Régimen: **Fechas** Unidad:

Desplegar | Notas | Archivos Adjuntos

Modificar Actividad | Ingresar | Exportar | Buscar | Grupos | Ver Columnas | Guardar Columnas | Restaurar Columnas

Arrastra el encabezado de la Columna a esta área para agruparla

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración	Prioridad	Tipo	Clasificación 1
\ SISTEMA DE CORTE\ CABEZA DE CORTE	Verificar posibles fugas de agua	1 Semana(s)	0 h 30 m	Alta	Preventivo	Mecánica
\ SISTEMA DE CORTE\ INTENSIFICADOR DE PRESION	Chequeo de fuga de aceite	1 Semana(s)	0 h 15 m	Alta	Preventivo	Mecánica
	Verificar posibles fugas de agua	1 Semana(s)	0 h 10 m	Alta	Preventivo	Mecánica
\ SISTEMA DE CORTE\ MANGUERAS DE ALTA PRESION	Verificar posibles fugas de agua	1 Semana(s)	0 h 10 m	Alta	Preventivo	Mecánica
\ SISTEMA ELECTRICO\ MOTOR DE ASPIRACION	Análisis Termográfico	4 Mes(es)	0 h 15 m	Baja	Preventivo	Instrumentación
	Inspección visual/auditiva	1 Mes(es)	0 h 15 m	Baja	Preventivo	Eléctrica y Mecánica
	Medición de amperaje	6 Mes(es)	0 h 30 m	Baja	Predictivo	Eléctrica
	Medir temperatura del motor	3 Mes(es)	0 h 15 m	Baja	Predictivo	Eléctrica
	Verificar por ruidos extraños	1 Semana(s)	0 h 15 m	Baja	Preventivo	Eléctrica y Mecánica
\ SISTEMA ELECTRICO\ MOTOR ESCALA XA	Análisis termográfico	4 Mes(es)	0 h 15 m	Baja	Preventivo	Instrumentación
	Inspección visual/auditiva	1 Mes(es)	0 h 30 m	Alta	Preventivo	Eléctrica y Mecánica
	Medir temperatura del motor	3 Mes(es)	0 h 15 m	Baja	Predictivo	Eléctrica
\ SISTEMA ELECTRICO\ MOTOR ESCALA Y	Análisis termográfico	4 Mes(es)	0 h 15 m	Baja	Preventivo	Instrumentación
	Inspección visual/auditiva	1 Mes(es)	0 h 30 m	Alta	Preventivo	Eléctrica y Mecánica
	Medición de amperaje	6 Mes(es)	0 h 15 m	Baja	Predictivo	Eléctrica
	Medir temperatura del motor	3 Mes(es)	0 h 15 m	Baja	Predictivo	Eléctrica
\ SISTEMA ELECTRICO\ MOTOR ESCALA XB	Análisis Termográfico	4 Mes(es)	0 h 15 m	Baja	Preventivo	Instrumentación
	Inspección visual/auditiva	1 Mes(es)	0 h 30 m	Alta	Preventivo	Eléctrica y Mecánica
	Medición de amperaje	6 Mes(es)	0 h 15 m	Baja	Predictivo	Eléctrica
	Medir temperatura del motor	3 Mes(es)	0 h 15 m	Baja	Predictivo	Eléctrica
\ SISTEMA ELECTRICO\ SISTEMA VICKERS	Inspección visual/auditiva	1 Mes(es)	0 h 25 m	Baja	Preventivo	Eléctrica
\ SISTEMA HIDRAULICO\ ACEITE HIDRÁULICO	Análisis de aceite	6 Mes(es)	0 h 15 m	Baja	Predictivo	Hidráulica
	Cambio de aceite hidráulico	1 Año(s)	2 h 00 m	Baja	Preventivo	Mecánica

Total 45 Registros

Salvador Giron | \\168.2.1\MP\soft\Bases\MDB\TATA.MTTO.M91

Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Plan de mantenimiento preventivo

Equipo: WATER JET (INC. EQ. TRATAM. AGUA) ATOM FLASHJET 2016 1U 10005413 (970)

Copiar Recursos marcados  Imprimir  Exportar

Parte	Actividad	Recurso	Cantidad	Unidad	Tipo
\ SISTEMA ELECTRICO\ SISTEMA VICKERS	Inspección visual/auditiva	Mecanico 1	0 h 25 m	Hr Ord	Mano de Obra
\ SISTEMA HIDRAULICO\ ACEITE HIDRAULICO	Análisis de aceite				
	Cambio de aceite hidráulico	Mecanico 1	2 h 00 m	Hr Ord	Mano de Obra
\ SISTEMA HIDRAULICO\ BOMBA HIDRAULICA	Verificar operacion de bomba hidráulica	Mecanico 1	0 h 30 m	Hr Ord	Mano de Obra
\ SISTEMA HIDRAULICO\ ENFRIADOR DE ACEITE	Inspección visual/auditiva	Mecanico 1	0 h 20 m	Hr Ord	Mano de Obra
\ SISTEMA HIDRAULICO\ MANGUERAS HIDRAULICAS	Verificar estado de mangueras hidráulicas	Mecanico 1	0 h 25 m	Hr Ord	Mano de Obra
\ SISTEMA MECANICO\ BANDAS DENTADAS EJES X/A/B/Y	Verificar el estado de las fajas de transmisión				
\ SISTEMA MECANICO\ BANDAS DENTADAS MOVIMIENTO PALLETS	Fajas 2010704		3	unidad	Repuestos y consumibles
		Mecanico 1	1 h 30 m	Hr Ord	Mano de Obra
\ SISTEMA MECANICO\ COJINETES	Análisis de ultrasonido				
	Lubricación general	Cartuchos de grasa resistente al agua (WATER JET)	1	unidad	Repuestos y consumibles
	Reemplazo de cojinetes de pallets	Mecanico 1	2 h 00 m	Hr Ord	Mano de Obra
			COJINETE NTE43 ROLLON	8	unidad
	Mecanico 1	6 h 00 m	Hr Ord	Mano de Obra	
\ SISTEMA MECANICO\ RIELES DESPLAZAMIENTO DE COJINETES	Reemplazo de rieles cojinetes de pallets	Mecanico 1	6 h 00 m	Hr Ord	Mano de Obra
\ SISTEMA NEUMATICO\ CILINDROS	Chequeo de fuga neumática	Mecanico 1	0 h 15 m	Hr Ord	Mano de Obra
	Verificar funcionamiento de	Mecanico 1	0 h 25 m	Hr Ord	Mano de Obra

Total 868 Registros

Accesorios Globales | Salvador Giron | \\168.2.1.1\MPsoftSv\Bases\MD\TATA MTT0.M91

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 4. Índice de mantenimiento

Tipo	Descripción (Equipo/Inmueble)	TMEF	TMPR	Confiabilidad	Tipo de Equipo
	WATER JET (INC. EQ. TRATAM. AGUA) ATOM FLASHJET 2016 1U 10005413 {970}	178 d 06 h 00 m	0 d 02 h 35 m	99.92 %	Cortadora Automática

**WATER JET (INC. EQ. TRATAM. AGUA) ATOM FLASHJET 2016 1U 10005413 {970}**

Fórmulas

Tiempo Medio Entre Fallas

$$TMEF = \frac{DP}{\Sigma TC} = 178 \text{ d } 06 \text{ h } 00 \text{ m}$$

[Ver detalle...](#)

Tiempo Medio Para Reparación

$$TMPR = \frac{\Sigma TRTC}{\Sigma TCR} = 0 \text{ d } 02 \text{ h } 35 \text{ m}$$

[Ver detalle...](#)

Confiabilidad (Disponibilidad por avería)

$$\text{Confiabilidad} = \frac{DP - \Sigma TM}{DP} \times 100 = 99.92 \%$$

[Ver detalle...](#)

Abreviatura	Descripción	Valor
Fórmula : TMEF		
DP	Total de días transcurridos en el periodo	713 d
TC	Trabajos de tipo correctivo	4
Fórmula : TMPR		
TRTC	Tiempo de realización de los trabajos de tipo correctivo	0 d 10 h 20 m
TCR	Trabajos de tipo correctivo realizados	4
Fórmula : Confiabilidad		
DP	Total de días transcurridos en el periodo	713 d
TM	Tiempo muerto de todos los trabajos	0 d 14 h 20 m

[Cerrar](#)

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 5. Tiempo medio entre fallas

TMEF - WATER JET (INC. EQ. TRATAM. AGUA) ATOM FLASHJET 2016 1U 10005413 {970}			
Arrastra el encabezado de la Columna a esta área para agruparla			
Descripción	Tipo de Trabajo	Folio OT	Fecha/Hora del Evento
Reemplazar manguera de alta presión	Correctivo	AG006358MP	24/06/2013 10:30:00 AM
Reemplazar serpentín	Correctivo	AG005303MP	25/09/2012 11:20:00 AM
Reemplazo de faja dentada (lado derecho)	Correctivo	AG004439MP	26/01/2012 8:00:00 AM
Reemplazo de faja dentada (lado izquierdo)	Correctivo	AG004440MP	26/01/2012 8:00:00 AM

TC: 4

Cerrar

Fuente: elaboración propia.