

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II) PARA
MÁQUINAS RECTIFICADORAS SIN CENTROS (M017 Y M018) EN
INDUSTRIAS LAVCO LTDA.**

ANGIE LISSETE RODRÍGUEZ GALVIS

DAVID LEONARDO PARRA ORTIZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2014

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II) PARA
MÁQUINAS RECTIFICADORAS SIN CENTROS (M017 Y M018) EN
INDUSTRIAS LAVCO LTDA.**

ANGIE LISSETE RODRÍGUEZ GALVIS

DAVID LEONARDO PARRA ORTIZ

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero mecánico

Director

CARLOS BORRAS PINILLA

Ingeniero mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2014

A Dios.

A mis padres, Francisco y Azucena.

A mis hermanas.

**A la memoria de mi hermano mayor,
John Jairo.**

Angie.

A la fuerza que mueve los átomos.

A mi madre, Olga.

A mis abuelos, Rodolfo y Rosmira.

David.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	23
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.	25
1.1 OBJETIVOS.	25
1.1.1 Objetivo general.	25
1.1.2 Objetivos específicos.	25
1.2 JUSTIFICACIÓN.	26
1.3 METODOLOGÍA	27
2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	31
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL	31
2.2 INFRAESTRUCTURA	32
2.3 PLAN ESTRATÉGICO	33
2.3.1 Misión.	33
2.3.2 Visión.	33
2.4 LÍNEAS DE TRABAJO EN LAVCO LTDA.	33
2.4.1 Línea de camisas secas para motores Diesel.	35
2.4.2 Línea de camisas secas para motores a Gasolina.	35
2.5 MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS	35
2.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	36
2.6.1 Mantenimiento en industrias LAVCO Ltda.	36

3.	DESCRIPCIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LOS ACTIVOS	38
3.1	PRINCIPIOS DEL RECTIFICADO SIN-CENTROS	38
3.1.1	Ventajas del rectificado sin centros.	38
3.1.2	Tipos de rectificadores sin-centros	39
3.1.2.1	Rectificado con alimentación completa (Through-feed)	40
3.1.2.2	Rectificado con alimentación restringida (in-feed)	41
3.1.2.3	Rectificado con alimentación restringida para piezas perfiladas (end-feed).	43
3.1.3	Características del rectificado sin centros	43
3.1.4	Generación del movimiento de la pieza	44
3.1.5	Parámetros de remoción de material para el trabajo con avance restringido (Infeed)	47
3.1.6	Influencia del diamantado de la piedra rectificadora en la pieza de trabajo.	48
3.1.6.1	Herramientas de rectificado estacionario	48
3.1.6.2	Proceso de diamantado	49
3.1.6.3	Relación de traslape	50
3.1.6.4	Filo de la herramienta de corte	51
3.1.6.5	Diamantado fino y rudo	52
3.1.6.6	Velocidad transversal de rectificado	53
3.1.7	Influencia del diamantado de la piedra reguladora en la pieza de trabajo.	54
3.1.8	Influencia de la posición de la pieza de trabajo en errores de redondez	56
3.1.8.1	Validación de la investigación de la influencia de la posición	58
3.2	RECTIFICADORA SIN-CENTROS CINCINATTI M017	59
3.2.1	Descripción general del activo M017	59
3.2.2	Diagramas funcionales del activo M017	62
3.3	RECTIFICADORA SIN-CENTROS JOTES M018	64

3.3.1	Descripción general del activo M018	64
3.3.2	Diagramas funcionales del activo M018	66
4.	MARCO TEÓRICO	68
4.1	MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II)	68
4.2	FASES PARA LA APLICACIÓN DEL RCM II	69
4.2.1	Definición de activo	70
4.2.1.1	Priorización de activos y establecimiento de objetivos	70
4.2.1.2	Nivel de análisis y límites del activo	71
4.2.2	Esquema general del proceso: preguntas básicas del RCM.	71
4.2.3	Funciones	72
4.2.4	Fallas funcionales	73
4.2.5	Modos de falla	74
4.2.5.1	Nivel de detalle	75
4.2.5.2	Categoría de modos de fallos	75
4.2.6	Efectos de falla	77
4.2.6.1	Descripción de los efectos de falla	78
4.2.7	Hoja de información RCM	79
4.3	MANEJO DE CONSECUENCIAS DE FALLAS	80
4.3.1	Fallas evidentes y ocultas	80
4.3.1.1	Fallas evidentes de las funciones de protección	81
4.3.1.2	Fallas no evidentes de las funciones de protección	82
4.3.2	Consecuencias para la seguridad, medio ambiente y operación.	83
4.3.2.1	Modos de fallas con consecuencias de seguridad y ambientales	83
4.3.2.2	Modos de fallas con consecuencias económicas	84
4.4	SELECCIÓN DE LA POLÍTICA DE MANEJO DE FALLAS	86
4.4.1	Influencia de la edad del activo	86
4.4.2	Factibilidad técnica	87

4.4.3	Rentabilidad	88
4.5	MANEJO DE FALLAS - TAREAS PROGRAMADAS	88
4.5.1	Tareas predictivas – bajo condición	88
4.5.1.1	Técnicas para realizar tareas predictivas	90
4.5.2	Tareas programadas de restauración y descarte	90
4.5.3	Tareas de búsqueda de fallas	91
4.5.4	Combinación de tareas	92
4.6	MANEJO DE FALLAS - CAMBIOS DE UNA VEZ Y LLEVADOS A LA FALLA – TAREAS NO PROGRAMADAS	92
4.6.1	Cambios de una vez	92
4.6.1.1	Cambios de una vez para modos con consecuencias en la seguridad y ambientales	93
4.6.1.2	Cambios de una vez para modos de falla ocultos	93
4.6.1.3	Cambios de una vez para modos con consecuencias operacionales y no operacionales.	94
4.6.2	Llevados a la falla	94
4.7	ENFOQUES	95
4.7.1	Enfoque riguroso	95
4.7.2	Diagrama de decisión	96
4.7.2.1	Aplicación del diagrama de decisiones	97
4.7.3	Hoja de decisión RCM	99
4.8	RELACIÓN ENTRE EL ANÁLISIS CAUSA-RAÍZ (RCA) Y EL ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)	99
4.8.1	Análisis causa raíz	102
4.8.2	Metodología RCA	103
5.	APLICACIÓN DEL PROCESO RCM A LA RECTIFICADORA SIN CENTROS CINCINATTI M017.	106

5.1	LÍMITES Y JERARQUIAS DEL ACTIVO M017.	106
5.2	GRADO DE DETALLE Y ANÁLISIS	107
5.3	CONTEXTO OPERACIONAL DEL ACTIVO M017	108
5.3.1	Procesos del activo	108
5.3.2	Parámetros de calidad.	109
5.3.3	Parámetros de seguridad.	109
5.4	CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS SUBSISTEMAS DEL ACTIVO M017	110
5.4.1	Contexto operacional del subsistema mecánico de la piedra rectificadora	110
5.4.2	Contexto operacional del subsistema mecánico de la piedra reguladora	112
5.4.3	Contexto operacional del subsistema hidráulico de aceite	115
5.4.4	Contexto operacional del sistema de refrigeración	121
5.4.5	Contexto operacional del sistema eléctrico y de control	122
5.4.6	Otros subsistemas: Reglillas de trabajo.	123
5.5	HOJA DE INFORMACIÓN: MÁQUINA RECTIFICADORA SIN CENTROS M017.	125
5.6	HOJA DE DECISIÓN: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO MÁQUINA RECTIFICADORA SIN CENTROS M017.	130
6.	APLICACIÓN DEL PROCESO RCM A LA RECTIFICADORA SIN CENTROS JOTES M018.	136
6.1	LÍMITES Y JERARQUIAS DEL ACTIVO M018	136
6.2	GRADO DE DETALLE Y ANÁLISIS	137

6.3	CONTEXTO OPERACIONAL DEL ACTIVO M018	138
6.3.1	Procesos del activo	138
6.3.2	Parámetros de calidad.	138
6.3.3	Parámetros de seguridad.	139
6.4	CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS SUBSISTEMAS DEL ACTIVO M018	139
6.4.1	Contexto operacional del subsistema mecánico de la piedra rectificadora	139
6.4.2	Contexto operacional del subsistema mecánico de la piedra reguladora	141
6.4.3	Contexto operacional del subsistema hidráulico de aceite	142
6.4.4	Contexto operacional del sistema de diamantado	143
6.4.5	Contexto operacional del sistema eléctrico	145
6.4.6	Otros subsistemas: Reglilla	146
6.5	HOJA DE INFORMACIÓN: MÁQUINA RECTIFICADORA SIN CENTROS M018	148
6.6	HOJA DE DECISIÓN: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO MÁQUINA RECTIFICADORA SIN CENTROS M018	151
7.	ANÁLISIS DE COSTOS DEL MANTENIMIENTO	155
7.1	GESTIÓN DE COSTOS DE MANTENIMIENTO EN LAVCO LTDA.	155
7.2	RELACIÓN BENEFICIO-COSTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.	155
7.2.1	Cálculos de los beneficios	158
7.2.2	Cálculo de los costos	159
7.2.3	Cálculo de la relación	160

8.	CONCLUSIONES	161
9.	RECOMENDACIONES	163
	BIBLIOGRAFIA	164
	ANEXOS	167

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variación de la velocidad de la pieza en función de las RPM de la reguladora cuando se encuentra nueva.	46
Tabla 2. Valores típicos de profundidad de corte y avance en el diamantado	52
Tabla 3. Ficha de identificación del activo M017	60
Tabla 4. Características actuales del activo M017	61
Tabla 5. Ficha de identificación del activo M018	64
Tabla 6. Características actuales del activo M018	65
Tabla 7. Etapas de aplicación del enfoque riguroso.	95
Tabla 8. Enfoques del RCA y FMEA	100
Tabla 9. Codificación de los subsistemas del activo M017	107
Tabla 10. Características técnicas de los motores M017	122
Tabla 11. Codificación de los subsistemas del activo M018	137
Tabla 12. Características técnicas de los motores M017	146
Tabla 13. Costos por mantenimiento correctivo y depreciación del activo	158
Tabla 14. Costos estimados por operación	158
Tabla 15. Costos en valor presente de tareas programadas	159
Tabla 16. Costos en valor presente inicial	160

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de industrias Lavco Ltda.	32
Figura 2. Líneas de trabajo de Lavco Ltda.	34
Figura 3. Productos ofrecidos por Lavco Ltda.	34
Figura 4. Organigrama de Lavco Ltda.	36
Figura 5. Organigrama de mantenimiento	37
Figura 6. Comparación entre el sistema convencional y sin-centros	38
Figura 7. Elementos del rectificado sin centros.	39
Figura 8. Vista superior del avance completo	40
Figura 9. Reglilla para rectificado al través	41
Figura 10. Vista superior del avance restringido	42
Figura 11. Reglilla para rectificado con avance restringido para piezas uniformes (Infeed)	42
Figura 12. Vista superior del avance hacia afuera	43
Figura 13. Vista superior - Ángulo de inclinación – Piedra reguladora	45
Figura 14. Grafica de la velocidad de la pieza para diferentes ángulos de contacto	47
Figura 15. Herramientas de rectificado estacionario	49
Figura 16. Diamantado con herramienta de punto sencillo estacionaria	50
Figura 17. Efectos de la velocidad de diamantado transversal en la potencia de rectificado y acabado superficial con un punta de diamante sencillo (SD) y con una herramienta de corte impregnada de diamantes (ID).	53
Figura 18. Posiciones alternativas para ubicar la punta rectificadora	54

Figura 19. Altura de rectificando: Posición A	55
Figura 20. Ángulo de rectificando: Posición B	55
Figura 21. Configuración geométrica del rectificando sin centros exterior	56
Figura 22. Errores experimentales de redondeo después del rectificando de una pieza con un error inicial de planicie de 46µm de profundidad.	58
Figura 23. Altura de la reglilla por encima de los centros de las piedras vs. diámetros comunes trabajados en Lavco Ltda.	59
Figura 24. Designación del fabricante Cincinatti 325-12	59
Figura 25. Diagrama funcional del activo M017 (Vista frontal)	62
Figura 26. Diagrama funcional del activo M017 (Vista trasera)	63
Figura 27. Diagrama funcional del activo M018 (Vista frontal)	66
Figura 28. Diagrama funcional del activo M018 (Vista trasera)	67
Figura 29. Diagrama de flujo del RCM	69
Figura 30. Ejemplo de la descripción de una función.	73
Figura 31. Tiempo de inactividad contra tiempo de reparación	79
Figura 32. Hoja de información RCM	79
Figura 33. Falla evidente de una función de protección	82
Figura 34. Falla oculta de una función de protección	83
Figura 35. Patrones de falla	87
Figura 36. Curva P-F	88
Figura 37. Diagrama de decisiones RCM	98
Figura 38. Hoja de decisión RCM	99
Figura 39. Relación entre el FMEA y el RCA.	101
Figura 40. Retroalimentación entre los procesos RCA y FMEA	101

Figura 41. Aumento de la confiabilidad humana con el tiempo	102
Figura 42. Analogía del análisis causa-raíz	103
Figura 43. Mapeo de causas para el RCA	104
Figura 44. Modelo de RCA	105
Figura 45. Límites del activo M017	106
Figura 46. Jerarquía de la rectificadora sin centros M017	108
Figura 47. Parámetros de calidad para las piezas de trabajo en las rectificadoras	109
Figura 48. Subsistema mecánico de la piedra rectificadora del activo M017	111
Figura 49. Unidad rectificadora-diamantadora de la piedra rectificadora M017	111
Figura 50. Subsistema mecánico de la piedra reguladora.	112
Figura 51. Control de movimiento de la piedra reguladora	113
Figura 52. Transmisión de potencia de la piedra reguladora M017	114
Figura 53. Unidad rectificadora-diamantadora de la piedra reguladora M017	114
Figura 54. Subsistema hidráulico de aceite.	115
Figura 55. Válvula direccional y reguladora de aceite M017	116
Figura 56. Válvula de control de los motores hidráulico M017	117
Figura 57. Circuito hidráulico de los motores hidráulicos M017	118
Figura 58. Montaje de las válvulas de control para ambas piedras	119
Figura 59. Sistema de balanceo de la piedra rectificadora	120
Figura 60. Ensamble de la válvula de control del sistema de balanceo	120
Figura 61. Husillo balanceado y circuito hidráulico del sistema de balanceo	121
Figura 62. Componentes del subsistema hidráulico de refrigerante	122
Figura 63. Reglilla para rectificado al través	124

Figura 64. Reglilla para rectificado con avance restringido para piezas uniformes (Infeed)	124
Figura 65. Límites del activo M018	136
Figura 66. Jerarquía de la rectificadora sin centros M018	137
Figura 67. Parámetros de calidad para las piezas de trabajo en las rectificadoras	138
Figura 68. Subsistema piedra rectificadora M018	139
Figura 69. Unidad diamantadora de la piedra rectificadora M018	140
Figura 70. Subsistema de la piedra reguladora M018	141
Figura 71. Unidad diamantadora de la piedra reguladora M018	142
Figura 72. Sistema hidráulico de lubricación M018	143
Figura 73. Sistema hidráulico de la unidad diamantadora M018	144
Figura 74. Diagrama hidráulico de la unidad diamantadora	145
Figura 75. Reglilla de trabajo M018	147
Figura 76. Costos de mantenimiento RCM	157

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Optimización de la información de los activos	168
ANEXO B. Tablas de información activo M017	237
ANEXO C. Tablas de decisión activo M017	261
ANEXO D. Tablas de información activo M018	285
ANEXO E. Tablas de decisión activo M018	303

RESUMEN

TÍTULO:

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA MÁQUINAS RECTIFICADORAS SIN CENTROS (M017 Y M018) EN INDUSTRIAS LAVCO LTDA.*

AUTORES:

Angie Lissete Rodríguez Galvis, David Leonardo Parra Ortiz.**

PALABRAS CLAVES:

Mantenimiento centrado en confiabilidad, RCM, Rectificadora sin centros, FMEA.

DESCRIPCIÓN:

El proyecto tiene como objetivo principal, fortalecer el vínculo universidad-sociedad mediante la participación activa de la comunidad en la solución de problemas que se presentan en el sector metalmecánico nacional. Desde el punto de vista global, el mantenimiento contribuye a la creación de líneas de producción más confiables y competitivas ante el mercado abierto industrializado. Por este motivo Lavco Ltda. ha enfocado sus esfuerzos en la mejora de sus cadenas productivas, haciendo de ellas más confiables y seguras. Los activos tratados en el presente proyecto hacen parte de un plan a largo plazo de mejoramiento de la gestión de sus procesos, en este caso de la del mantenimiento.

El proceso RCM como filosofía de mantenimiento, plantea siete preguntas estructuradas de manera estratégica hacia la determinación de las tareas e intervalos de tiempo más adecuados para el activo según su contexto operacional. En primer lugar, es necesario conocer a fondo el funcionamiento de las partes más importantes del activo, a partir de ello, se definen claramente sus funciones procurando incluir la información más relevante que encamine el proceso a la identificación de los modos de falla más probables e importantes. Estos son descritos y clasificados según su consecuencia, que pueden ser la seguridad, impacto ambiental o impacto operacional. Esta clasificación permite la determinación de las tareas que se pueden enmarcar como predictivas, preventivas y correctivas. Todo esto sistematizado en un diagrama de decisiones propuesto por la norma SAE JA 1012.

El resultado de la aplicación de esta metodología es el aseguramiento de la preservación de las funciones de los activos, obteniendo una mejor relación costo-eficacia en la determinación de la carga y recursos destinados al mantenimiento.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías físico mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica, Director: Carlos Borrás Pinilla.

ABSTRACT

TITLE:

RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE PLAN FOR CENTERLESS GRINDING MACHINES (M017 AND M018) IN LAVCO LTDA.

AUTHORS:

Angie Lissete Rodríguez Galvis, David Leonardo Parra Ortiz.**

KEY WORDS:

Reliability centered maintenance, RCM, centerless grinding machine, FMEA.

DESCRIPTION:

The main goal of this project was encourage the tie university-society by means of active involvement of community in troubleshooting in national metallurgical industry. From the global perspective, maintenance contributes to creation of reliable and competitive production systems, facing industrialized open markets. Due to Lavco Ltda. has focused its efforts on improving its production systems, making them more reliable and safe. The assets treated in this project are part of a long-term process management improvement plan, in this case maintenance.

RCM process as a maintenance philosophy, outline seven questions structured strategically towards the determination of more suitable tasks and tasks intervals according to asset operational context. Firstly, was necessary to know deeply how the more significant asset's parts works, since then, was defined clearly its functions trying to include the most outstanding information that could aim to the identification process of most likely and important failures modes. These are described and classified according to its consequences, which may be in safety, environmental or operational. This listing allows the determination of tasks that may be predictive, preventive and corrective. All this systematized in a decision diagram suggested in SAE JA 1012 standard.

The result is a maintenance management methodology that ensures that the assets continue to perform the functions, obtaining a better cost-effectiveness in work load and resources destined to maintenance.

* Degree Work.

** Physical Mechanical Engineering Faculty, Mechanical Engineering School. Director: Eng. Carlos Borrás Pinilla.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha visto como el gobierno Colombiano ha enfocado su política de comercio exterior hacia la apertura y posicionamiento de productos nacionales en nuevos mercados internacionales. Para ello, ha negociado tratados de libre comercio con distintos países, los cuales consisten, básicamente en la exención o rebaja de aranceles para bienes y servicios.

Para la cadena metalmecánica Colombiana, estos acuerdos representan grandes retos y oportunidades. Los tratados enmarcados en la exportación, suponen una preparación y un robustecimiento del aparato productivo, en pro del desarrollo de la competitividad y la calidad. Para industrias Lavco Ltda. Este panorama no es la excepción. Por este motivo, la empresa ha venido enfocando esfuerzos que le permitan mejorar sustancialmente sus puntos débiles a nivel estratégico. Uno de ellos consiste en la gestión de activos y el mantenimiento.

Las buenas estrategias de mantenimiento comienzan con la definición de los requerimientos de cada una de las partes de los equipos en funcionamiento. Esto es porque, la adecuada selección de una política de mantenimiento no se puede llevar a cabo de forma aleatoria e informal.

La aplicación de RCM resuelve el problema anterior con una estructura estratégica que le permite llevar a cabo la evaluación y selección de procesos que se pueden implementar en forma rápida y segura. La metodología, además, involucra activamente los requerimientos de producción a la determinación de tareas de preservación y cuando es pertinente dirige las tareas en términos de seguridad e integridad ambiental.

Dentro del proceso RCM se ejecuta la técnica de análisis de modos y efectos de falla (FMEA), para cumplir con las expectativas planteadas en la primera fase. De este modo, se establecen los eventos que son razonablemente las probables de cada estado de falla. Finalmente, el proceso RCM busca identificar una apropiada

política del manejo de fallas para tratar cada modo de falla a la luz de sus consecuencias y características técnicas.

Los resultados obtenidos en el presente proyecto demuestran que la implementación del plan de mantenimiento basado en RCM es favorable en cuanto a la organización de la carga de mantenimiento, mejora en la confiabilidad de la operación, identifica las posibles causas de errores en la calidad del producto y se asegura la preservación de las funciones del activo.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

1.1 OBJETIVOS.

1.1.1 Objetivo general.

Contribuir con el compromiso misional de la Universidad Industrial de Santander y de la Escuela de Ingeniería Mecánica, por medio de la participación activa con la comunidad, específicamente con el sector manufacturero Santandereano, atendiendo a las necesidades de la industria metalmecánica en el área de mantenimiento.

1.1.2 Objetivos específicos.

- Establecer un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para las máquinas rectificadoras sin centros (M017 Y M018) de Lavco Ltda., en conformidad con las normas SAE JA 1011 y SAE JA 1012.
- Optimizar la documentación existente de los activos, identificando los subsistemas según la norma ISO 14224, recopilando información técnica, de procedimientos y conservación de los activos en general.
- Identificar el mal actor de los activos rectificadores sin centros (M017 y M018) mediante la realización de un análisis de causa-raíz (RCA).
- Identificar las fallas potenciales de los activos rectificadores sin centros (M017 y M018) mediante la realización de un análisis de modos y efectos de falla (FMEA) de los subsistemas, acorde a las normas SAE JA 1011, SAE JA 1012 y SAE J 1739.
- Realizar un análisis costo-beneficio comparando el costo de mantenimiento actual con un estimativo del plan de mantenimiento propuesto.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

Lavco Ltda. es una empresa que se proyecta en el futuro como un proveedor líder en el mercado local, norteamericano y latinoamericano, destacándose por la calidad en los procesos de producción y la comercialización de sus productos y servicios. Por tal motivo, se hace necesario disponer líneas productivas confiables, que no comprometan la producción súbitamente por algún fallo inesperado.

Como lo expresa Valderrama¹, el análisis de criticidad realizado bajo el concepto de riesgo (2012), muestra que los activos M017 y M018 tienen una calificación de nivel de criticidad de 76, quedando en los lugares segundo y tercero, entre los equipos de toda la planta. De ahí su importancia, por su alto impacto operacional.

Según la gerente, Olga Patricia Vesga (representante legal de industrias Lavco Ltda.), las rectificadoras sin centros procesan entre 1.000 y 1.500 piezas por día. Es decir, una producción estimada de 50 piezas por hora. Esta información es corroborada por Ruiz² en su monografía de grado, donde se calcula la capacidad instalada en cada proceso por tipo de producto.

De acuerdo a lo anterior, una parada inesperada de cualquiera de estas dos máquinas repercutiría la producción antes mencionada provocando una serie de efectos negativos. Por un lado, los materiales en cola correrían un serio riesgo de corrosión, obligando a la empresa a planear un reproceso y algunas medidas de protección. Por otro lado, el incumplimiento de las fechas de entrega de los pedidos representaría por lo menos una semana de reprogramación del itinerario y

¹ VALDERRAMA RODRÍGUEZ, Juan Ignacio. Integración de los procesos del departamento de mantenimiento de industrias Lavco Ltda. con la gestión de activos bajo la guía estándar PAS-55:2008. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2013. P. 88-90.

² RUÍZ ORJUELA, Erika Tatiana. Mejoramiento de los procesos productivos en industrias LAVCO Ltda. Trabajo de grado (ingeniera industrial). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, 2013. P. 74-78.

al menos 12 clientes mayoristas insatisfechos. En consecuencia, una parada inesperada le costaría a la empresa el equivalente de un 25% de su facturación mensual.

Como propuesta de solución a la mencionada problemática:

En primer lugar, se propone un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, que brinde mayor seguridad e integridad a la operación, reduciendo o eliminando los riesgos identificables en los activos e incorporándolos a la toma de decisiones de mantenimiento.

En segundo lugar, el plan de mantenimiento permite asociar las tareas más adecuadas para cada rectificadora asegurando que estas cumplan su función tal y como lo desea la empresa.

En tercer lugar, con este plan se priorizaran las tareas de mantenimiento disminuyendo la cantidad de trabajo de rutina destinado en cada período, esto se refleja notablemente en los costos destinados a mantenimiento.

Por último, se dispone de información detallada y correctamente documentada sobre los activos, la operación y el mantenimiento, lo que permite alcanzar la confiabilidad requerida en el proceso, ya que será posible capacitar al personal actual y el nuevo, asegurando la continua operación de los activos en el futuro.

1.3 METODOLOGÍA

Etapa 1: Descripción y documentación del estado actual de los activos, procesos de operación y labores de mantenimiento.

En esta etapa se busca formalizar la documentación necesaria de confiabilidad y mantenimiento de acuerdo con la norma ISO 14224. Estos datos son usados como soporte en el análisis de modos y efectos de falla (FMEA). Adicionalmente, se mejora la documentación de los activos M017 y M018, incluyendo información sobre la operación, datos técnicos y procedimientos generales.

Las metas propuestas para esta etapa son:

- Determinar los datos que serán usados para el análisis.
- Clasificar y estandarizar los datos de RM (confiabilidad y mantenimiento).
- Definir los límites del análisis.
- Recopilar y optimizar la documentación existente de los activos.

Etapa 2: Establecer las tareas de mantenimiento de acuerdo a las normas SAE JA 1011 y SAE JA 1012. Análisis de modos y efectos de falla.

Esta etapa establece las tareas adecuadas de mantenimiento de acuerdo al contexto operacional del activo, para ello se siguen los lineamientos establecidos por la normas SAE JA1011, SAE JA1012 y SAE J1739.

La norma SAE JA1011 determina los pasos necesarios para catalogar el proceso como “Mantenimiento centrado en confiabilidad” (RCM).

La norma SAE JA1012 es una ampliación de la anterior y formula el procedimiento de análisis de modos y efectos de falla (FMEA), esta norma se apoya de la información suministrada por la SAE J1739 sección 5, la cual profundiza en el análisis FMEA específicamente para maquinaria. Al final de la SAE JA1012, se presentan las estrategias y acciones de acuerdo a los algoritmos de decisión que esta norma propone, de esta manera, se obtienen las tareas de mantenimiento adecuadas para los activos en cuestión y los intervalos necesarios para formalizar el plan de mantenimiento.

Las metas propuestas para esta etapa son:

- Determinar las funciones principales y secundarias.
- Estudiar los modos de falla asociados a las funciones.

- Describir de los efectos de falla asociados a cada modo de falla.
- Clasificar las consecuencias de falla según la norma.
- Aplicar el algoritmo de decisión para determinar estrategias y acciones adecuadas.

Etapas 4: Identificar el mal actor mediante el análisis causa raíz.

Esta etapa busca identificar las fallas más recientes en los equipos. Posteriormente, mediante el método del árbol de causa-efecto, se encuentran las causas raíz que pueden ser físicas, humanas o latentes.

Las causas raíz físicas, comprenden fallos ocurrientes en elementos que son necesarios sustituir.

Las causas raíz humanas, son las acciones que provocan las causas físicas que por lo general se corrigen mediante la capacitación del personal involucrado con los activos.

Las causas raíz latentes, representan las manifestaciones de los procesos organizacionales que explican la ocurrencia de las causas raíz humanas.

Las metas propuestas para esta etapa son:

- Definir las fallas actuales.
- Realizar el árbol de causas y efectos.
- Determinar las acciones correctivas de la causa raíz específica.

Etapas 5: Formalizar el plan de mantenimiento propuesto.

El objetivo de esta fase es presentar de manera concisa los resultados de las etapas anteriores. Además, se busca realizar un análisis beneficio-costos que respalde las decisiones planteadas. Posteriormente, el plan de mantenimiento

será expuesto ante Industrias Lavco Ltda. y ante la comunidad universitaria UIS, para su aprobación.

Las metas propuestas para esta etapa son:

- Realizar un análisis Costo-Beneficio.
- Presentar la propuesta ante Industrias Lavco Ltda.
- Sustentar el proyecto de grado ante la universidad.

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Constituida legalmente desde 1991, Lavco Ltda., es una organización empresarial privada, de carácter industrial, ubicada dentro del sector económico de fabricantes de partes para motores.

La razón social de Lavco Ltda. es la producción y comercialización de camisas de fundición de hierro gris centrifugado para automotores diesel, gasolina, motores estacionarios industriales, compresores y bombas reciprocantes. Entre sus servicios están la reparación de cilindros compresores reciprocantes, fabricación de pistones en hierro gris y aluminios, y reparación de partes para equipos del sector industrial.

Lavco Ltda. es líder del mercado Colombiano y distribuye sus productos por todo el territorio nacional. En el exterior, exporta a países tales como Estados Unidos y algunos países de Latinoamérica.

La ventaja competitiva consiste en su capacidad de atender la fabricación de camisas bajo plano técnico o muestra física desde 25 milímetros hasta 50 centímetros de diámetro interno y hasta 1.25 metros de longitud³. Además, los productos de Lavco Ltda., fabricados mediante el proceso centrifugado y con aleaciones especiales, resaltan propiedades como la resistencia al desgaste, control de lubricación y transferencia de calor.

³ LAVCO – Acerca de la compañía [online]. [citada 19 Marzo 2014]. Disponible en: < <http://www.lavco.com.co/secciones.php?seccion=MQ==&subseccion=MQ==&idioma=1> >

2.2 INFRAESTRUCTURA

Las instalaciones de Lavco Ltda. están ubicadas en el kilómetro cuatro sobre la autopista Floridablanca – Piedecuesta, Colombia. Cuenta con más de 2000 metros cuadrados de construcción donde funcionan las plantas de mecanizado y fundición, así como oficinas administrativas. Lavco se desenvuelve dentro de la cadena del sector metalmecánico, sus actividades se enmarcan en la metalurgia y la metalmecánica, siendo esta última la más representativa en cuanto a producción.

Figura 1. Distribución de industrias Lavco Ltda.



Fuente: Industrias Lavco Ltda.

2.3 PLAN ESTRATÉGICO

2.3.1 Misión.

“Somos una empresa industrial productora y comercializadora de partes para motor, proveedora de servicios de reparación y otros componentes internos relacionados directamente con el desempeño de motores y compresores. Contamos con clientes a nivel nacional e internacional en los segmentos de: comercialización de partes, talleres de rectificación de motores y mecánica industrial Diesel, así como organizaciones del sector industrial y energético que son atendidas directamente o a través de sus respectivos proveedores de servicios”⁴.

2.3.2 Visión.

“Ser un proveedor líder del mercado Colombiano, reconocido en Latinoamérica, por la calidad en los procesos de fabricación y comercialización de partes para motor; así como un ofertante de servicios metalmecánicos consolidado en los sectores industriales y energéticos que cuente con aliados estratégicos a nivel internacional de quienes recibamos inversión en transferencia de conocimiento, tecnología y capital”⁵.

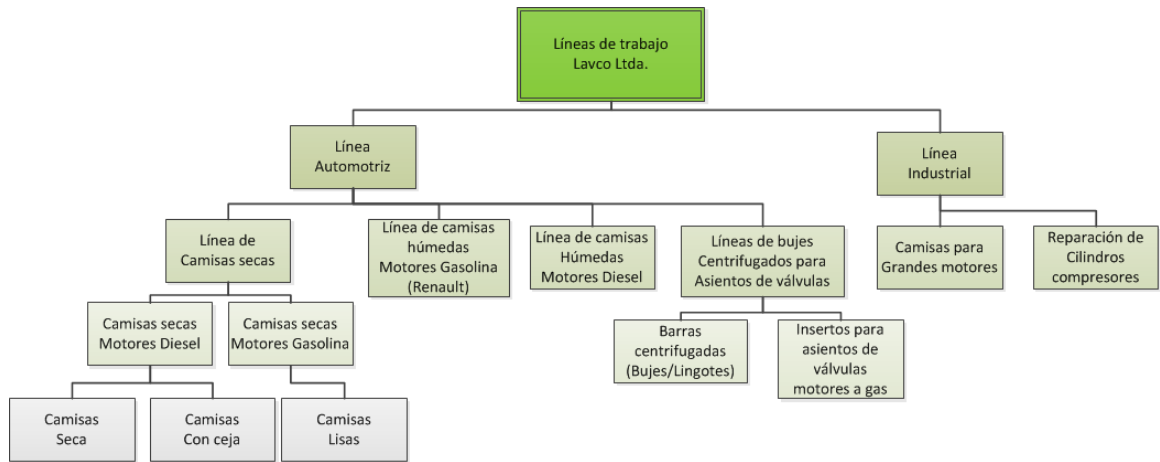
2.4 LÍNEAS DE TRABAJO EN LAVCO LTDA.

Las líneas de trabajo de Lavco Ltda. se muestran a continuación:

⁴ Santander competitivo – Comisión regional de competitividad [online]. Misión y visión de Industrias Lavco Ltda. [citada 19 Marzo 2014]. Disponible en: <http://www.santanderinnova.org.co/principal/entidad/entidad_mision.php?codentidad=103&url_k=24b77ba7fb1879c6ba1ed2706cebf190>

⁵ Ibíd.

Figura 2. Líneas de trabajo de Lavco Ltda.



Fuente: Los autores

Figura 3. Productos ofrecidos por Lavco Ltda.



Fuente: Los autores

Las máquinas rectificadoras sin centros procesan, de la línea automotriz, aquellos productos denominados secos. El activo M017 procesa cilindros lisos (camisas seca gasolina) y con cejas (camisa seca Diesel), mientras que el activo M018 solamente procesa cilindros lisos.

2.4.1 Línea de camisas secas para motores Diesel.

De tipo seca y con pestaña. Su aplicación es exclusiva para motores Diesel que no tienen refrigeración por agua directamente. Se entregan semi o completamente terminados respondiendo a los requerimientos del cliente.

2.4.2 Línea de camisas secas para motores a Gasolina.

Se entregan con el diámetro exterior terminado y el diámetro interior semiterminado, la tolerancia interior dejada normalmente es de 40 milésimas de pulgada.

2.5 MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS

Para la elaboración de los blancos de fundición, los cuales se consideran como la materia primera del proceso de mecanizado, se requiere principalmente de hierro gris el cual es adquirido por actividades de reciclaje.

2.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Figura 4. Organigrama de Lavco Ltda.



Fuente: manual de calidad Lavco Ltda.

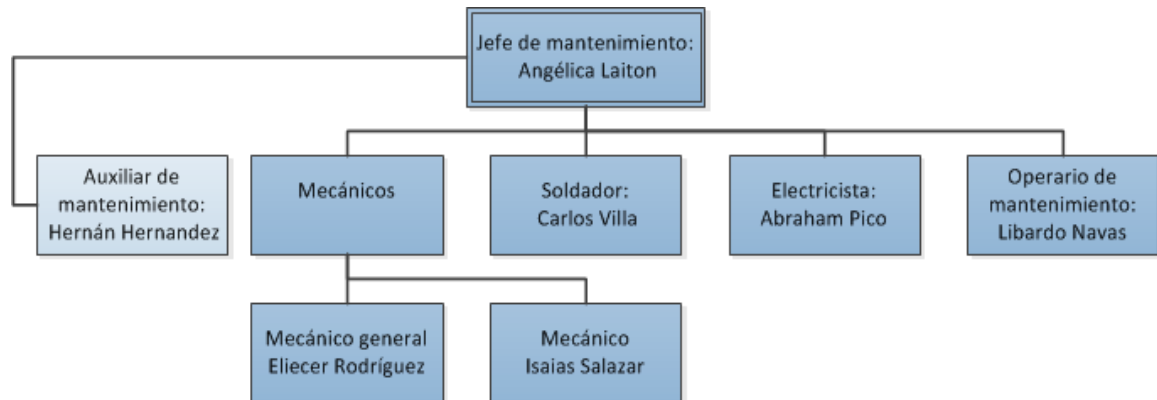
2.6.1 Mantenimiento en industrias LAVCO Ltda.

El área de mantenimiento se ubica dentro de la planta de mecanizado. Éste hecho permite atender con prontitud los percances que se puedan presentar. Sin embargo, el espacio destinado para los talleres de mantenimiento es escaso.

El departamento de mantenimiento está conformado por el equipo que se observa en la figura 5. Este equipo, a pesar de que organiza rutinas de inspección, limpieza y lubricación, presenta dificultades con el cálculo de la carga de mantenimiento correctivo ya que éste es elevado, lo que dificulta las tareas.

La empresa a lo largo de los años ha manejado diversos enfoques sobre la gestión de mantenimiento. Han pasado de máximo mantenimiento preventivo, sumamente costoso, a concentrarse recientemente en mantenimiento correctivo al 100% por razones presupuestales.

Figura 5. Organigrama de mantenimiento



Fuente: los autores

La planta en general carece de un plan de mantenimiento que facilite la planificación de trabajos, identifique trabajos repetitivos y establezca los protocolos de reparación estandarizados.

El plan de mantenimiento es generado sin un riguroso análisis de los equipos involucrados, la prioridad y calidad del mantenimiento se hace a criterio del jefe y los operarios de mantenimiento, de acuerdo a los recursos e información de los elementos que componen los diferentes equipos.

3. DESCRIPCIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LOS ACTIVOS

3.1 PRINCIPIOS DEL RECTIFICADO SIN-CENTROS

3.1.1 Ventajas del rectificado sin centros.

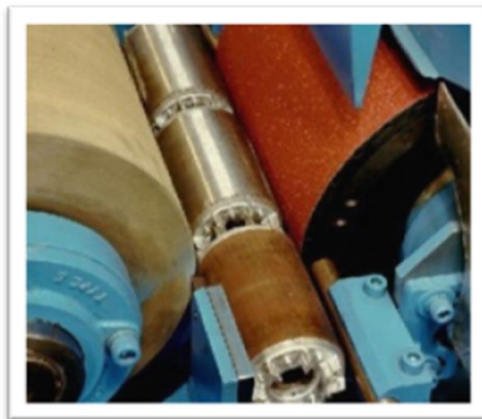
El proceso de rectificado sin-centros difiere de los otros procesos, en que la pieza de trabajo no está mecánicamente forzada. Las piezas hechas con el rectificado sin-centros, no requieren hoyos, mandriles o dispositivos. A cambio, los cilindros se sostienen en sus propios diámetros exteriores sobre una reglilla localizada entre la piedra rectificadora y la piedra reguladora (Figura 6). El rectificado sin-centros es ideal para el trabajo continuo.

Figura 6. Comparación entre el sistema convencional y sin-centros



Rectificado cilíndrico tradicional

- La pieza de trabajo necesita apoyarse.
- La pieza se apoya sobre la piedra rectificadora.
- No permite el cambio rápido de la pieza de trabajo.



Rectificado cilíndrico sin-centros

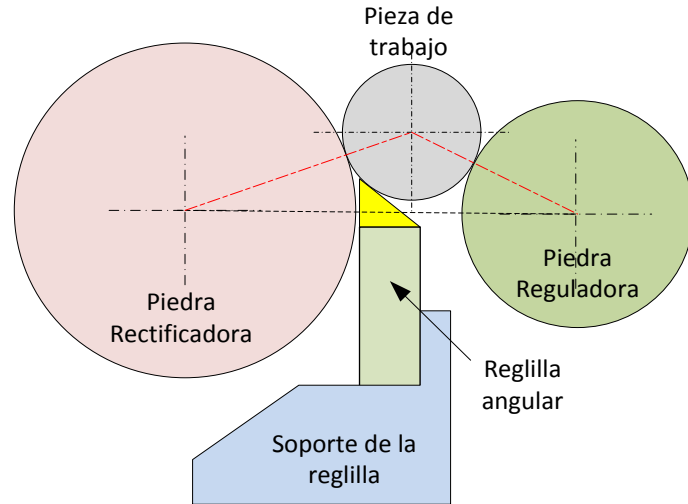
- La pieza de trabajo se apoya sobre su propio diámetro exterior por medio de una reglilla.
- La pieza se apoya sobre la piedra reguladora y el rectificado es preciso y superficial.
- Permite el cambio rápido de la pieza de trabajo para desarrollar un trabajo más eficiente.

Fuente: Los autores

3.1.2 Tipos de rectificados sin-centros

Como lo expresa Hashimoto⁶, las principales configuraciones de una rectificadora sin centros son la piedra rectificadora, reguladora y la reglilla de soporte (figura 7), estas definen los tipos de máquinas y de rectificados.

Figura 7. Elementos del rectificado sin centros.



Fuente: Los autores

Según la dirección del movimiento (alimentación) de la pieza de trabajo, hay tres tipos de métodos de rectificados sin centros:

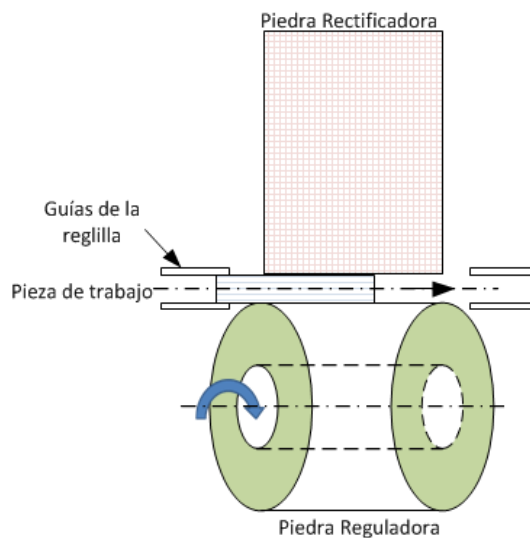
- Rectificado con alimentación completa (through-feed).
- Rectificado con alimentación restringida para piezas uniformes (in-feed).
- Rectificado con alimentación restringida para piezas perfiladas (end-feed).

⁶ HASHIMOTO, Fukuo, GALLEGRO, Ivan, OLIVEIRA, João F.G., BARRENETXEA, David, TAKAHASHI, Mitsuaki, SAKAKIBARA, Kenji, STÅLFELT, Hans-Olof, STAADT, Gerd and OGAWA, Koji. Advances in centerless grinding technology. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* [En línea]. Enero 2012. Vol. 61, no. 2, p. 747–770. [Consultado: 29 Marzo 2014]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850612002028>

3.1.2.1 Rectificado con alimentación completa (Through-feed)

Se define como: “Un método de rectificado sin centros en el cual la piedra reguladora y las guías de la reglilla pasan la pieza de trabajo por la piedra rectificadora en línea recta. Éste método es usado principalmente para piezas de trabajo cilíndricas, rectas y sin obstrucciones”⁷

Figura 8. Vista superior del avance completo

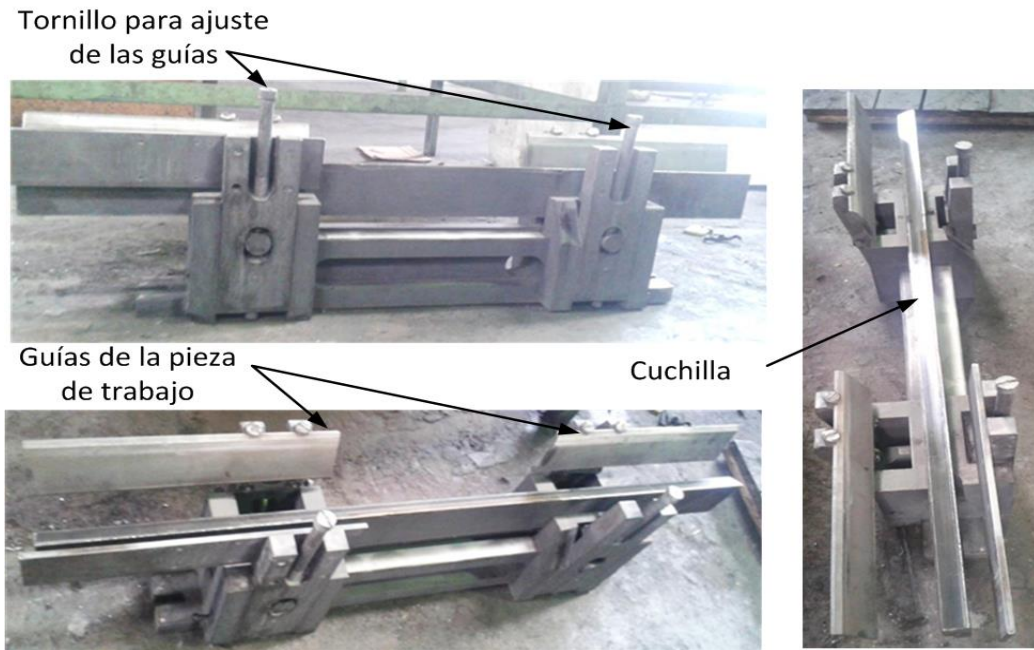


Fuente: los autores

La reglilla usada para éste método, posee una cuchilla de trabajo y guías ajustables para mantener la pieza en línea recta. Estas últimas, se encuentran alineadas en ambos frentes de las piedras (frontal y trasero).

⁷ Tooling U-SME [En línea]. Abrasive training – Centerless grinding operation 260. [Consultada: 13 Abril 2014]. Disponible en: <<http://www.toolingu.com/class-250260-centerless-grinder-operation.html>>

Figura 9. Reglilla para rectificado al través



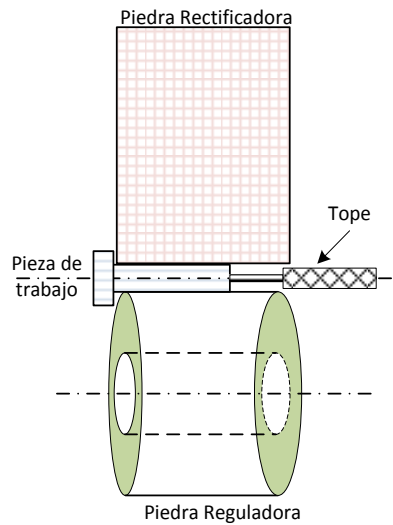
Fuente: los autores

3.1.2.2 Rectificado con alimentación restringida (in-feed)

Se define como: “Un método de rectificado sin centros en el cual la pieza de trabajo es retenida estacionariamente mientras la piedra rectificadora desbasta la superficie de la pieza de trabajo a una profundidad y parte específica”⁸. Se usa cuando la pieza de trabajo posee una interferencia en su superficie (ceja, cabeza o reducción de diámetro).

⁸ Ibíd.

Figura 10. Vista superior del avance restringido



Fuente: los autores

La reglilla utilizada incorpora la cuchilla de trabajo, pero no las guías ajustables. A cambio, un tope mantiene la pieza en su lugar, el cual, se puede ajustar en profundidad. La longitud de las piezas depende del ancho de las piedras.

Figura 11. Reglilla para rectificado con avance restringido para piezas uniformes (Infeed)

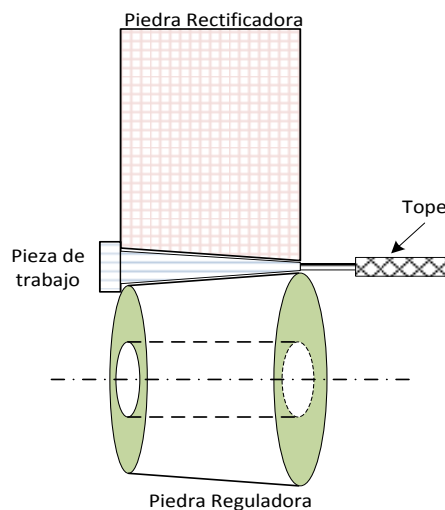


Fuente: los autores

3.1.2.3 Rectificado con alimentación restringida para piezas perfiladas (end-feed).

Se define como: “Un método de rectificado sin centros en el cual la pieza de trabajo es puesta entre la piedra rectificadora y reguladora hasta que la pieza hace contacto con un tope. Se usa para estrechar un extremo de la pieza de trabajo”⁹. Es utilizado en piezas de trabajo con superficies poco típicas como reducciones de diámetro o perfiles. Las piedras se deben modificar de acuerdo al patrón de trabajo.

Figura 12. Vista superior del avance hacia afuera



Fuente: Los autores

3.1.3 Características del rectificado sin centros

El rectificado exterior de camisas proporciona a las piezas de trabajo:

- Medidas de gran precisión en los productos seca y ceja.
- Alta calidad en el procesado de superficies.

⁹ Ibíd.

- Redondez a partir de condiciones de no-redondez.

El tipo de rectificado realizado por los activos en Lavco Ltda. se denomina de “ángulo tangencial positivo”, esto quiere decir que la pieza de trabajo esta soportada entre la cuchilla de la reglilla y la piedra reguladora y que la pieza de trabajo se encuentra por encima de la línea de unión de los centros de las piedras reguladora y rectificadora¹⁰.

3.1.4 Generación del movimiento de la pieza

Para generar el movimiento, la piedra reguladora se inclina el ángulo ϕ respecto al plano vertical que pasa a través de su eje. Esta inclinación permite el movimiento longitudinal de la pieza de trabajo. A su vez, la magnitud de la velocidad de la pieza puede ser controlada por dicha inclinación o por la velocidad de la piedra reguladora¹¹.

De acuerdo con Rowe¹², el ángulo crea una componente axial de la velocidad en la piedra reguladora. La velocidad de alimentación V_f depende del ángulo ϕ y la velocidad superficial de la piedra reguladora V_{cw} , de acuerdo a la siguiente ecuación:

¹⁰ SUBRAMANYA UDUPA, N.G., SHUNMUGAM, M.S. and RADHAKRISHNAN, V. Influence of workpiece position on roundness error and surface finish in centreless grinding. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* [en línea]. Enero 1987. Vol. 27, no. 1, p. 77–89. [Consultado: 29 Marzo 2014]. DOI 10.1016/S0890-6955(87)80041-X. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089069558780041X>

¹¹ *Ibíd.*

¹² ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology* [en línea]. Elsevier, 2014. [Consultado: 29 Marzo 2014]. ISBN 9780323242714. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323242714000130>. P. 271 – 273.

Ecuación 1. Velocidad de alimentación de la pieza

$$V_f = V_{cw} * \sin(\Phi)$$

Fuente: Principios de la tecnología del rectificado moderno – Rowe. P. 272.

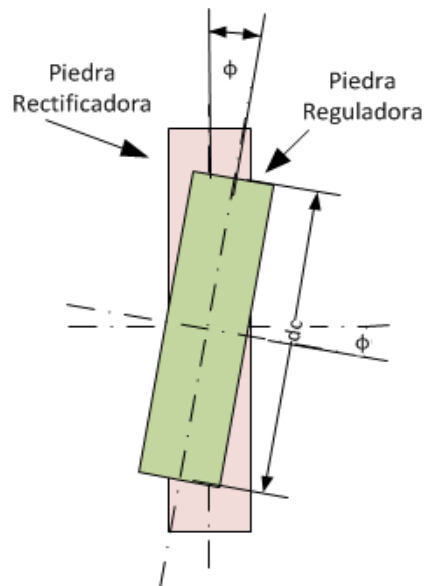
La velocidad superficial de la piedra reguladora se puede estimar conociendo el diámetro de la piedra d , y las revoluciones por minuto N , de acuerdo a la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Velocidad superficial de la piedra reguladora

$$V_{cw} = \pi * d * N$$

Fuente: los autores

Figura 13. Vista superior - Ángulo de inclinación – Piedra reguladora



Fuente: Los autores

Los activos permiten una inclinación entre $-2^\circ \leq \phi \leq +8^\circ$. Como medidas conservativas, para productos de línea seca se gradúa la piedra en 2,5 grados y

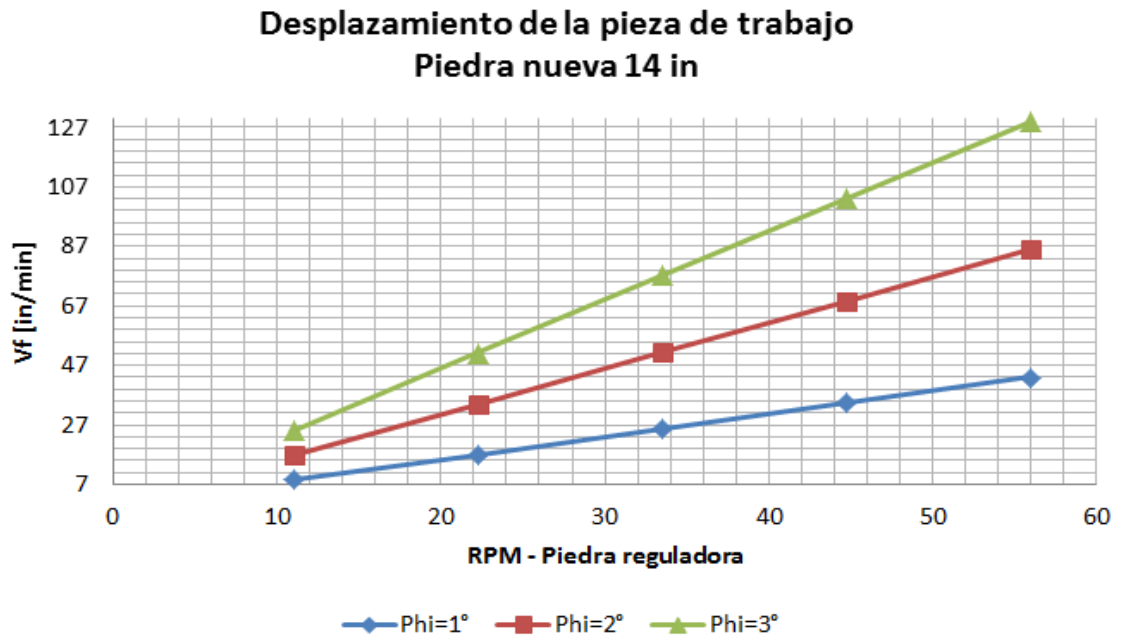
para la línea ceja se gradúa en 0 grados, ya que, en esta última, la pieza permanece estática.

Tabla 1. Variación de la velocidad de la pieza en función de las RPM de la reguladora cuando se encuentra nueva.

phi [Deg]	D [in]	RPM	Vf[in/min]
1	14	11	8,444
		22,25	17,08
		33,5	25,71
		44,75	34,35
		56	42,99
2	14	11	16,88
		22,25	34,15
		33,5	51,42
		44,75	68,69
		56	85,96
3	14	11	25,32
		22,25	51,22
		33,5	77,11
		44,75	103
		56	128,9

Fuente: los autores

Figura 14. Grafica de la velocidad de la pieza para diferentes ángulos de contacto



Fuente: los autores

3.1.5 Parámetros de remoción de material para el trabajo con avance restringido (Infeed)

Una de las características que diferencian el rectificado sin centros del centrado, es la forma como se remueve el material. Para el trabajo de piezas con avance restringido, la profundidad de corte y la tasa de remoción se dan por las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3. Profundidad de corte – trabajo con avance restringido

$$a_e = \frac{1}{2} * \pi * d_w * \frac{v_f}{v_w}$$

Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier, 2014.

Ecuación 4. Tasa de remoción de material – trabajo con avance restringido

$$Q_w = a_e * b * v_w = \pi * d_w * b * \frac{v_f}{2}$$

Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier, 2014.

Donde b es el ancho de la piedra rectificadora, v_f es la velocidad de alimentación de la piedra rectificadora en la pieza y v_w es la velocidad de la pieza de trabajo, determinado por la piedra reguladora (3.1.4).

3.1.6 Influencia del diamantado de la piedra rectificadora en la pieza de trabajo.

El diamantado en general, persigue los siguientes objetivos:

- Eliminar desviaciones de rectitud en la piedra.
- Obtener una superficie de corte afilada y una distribución uniforme de puntas de corte.
- Limpiar para remover una capa de abrasivo cargada con material de la pieza de trabajo y suciedad.

3.1.6.1 Herramientas de rectificado estacionario

La herramienta más comúnmente utilizada es la punta sencilla de diamante. Sin embargo, las piedras rectificadoras desgastan la herramienta muy rápido, por lo que, se pueden considerar otros tipos de herramientas de corte con mejor durabilidad.

Una solución, al rápido desgaste, de acuerdo con Rowe¹³, es la utilización de una herramienta multi-punto. Ésta tiene un desempeño de rectificado más acorde con la duración que la de punto sencillo y no requiere ser ajustada con tanta frecuencia para alcanzar un punto de corte afilado.

Figura 15. Herramientas de rectificado estacionario



Fuente: Jain Diamond Tool [En línea]. Products. [Citada: 13 Abril 2014]. Disponible en: <http://www.jaindiamondtools.com/>

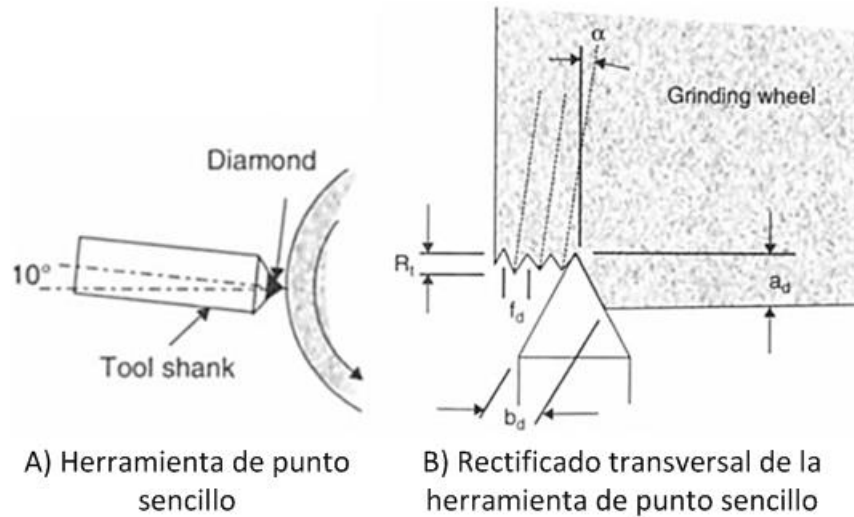
Entre los tipos de herramientas se encuentran las estacionarias y las rotativas. Por su sencillez, se estudiara el uso de las herramientas estacionarias.

3.1.6.2 Proceso de diamantado

El proceso descrito a continuación aplica para ambas herramientas, multi-punto y punto sencillo.

¹³ ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology* [en línea]. Elsevier, 2014. [Consultado: 29 Marzo 2014]. ISBN 9780323242714. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323242714000130>. P. 273 – 275.

Figura 16. Diamantado con herramienta de punto sencillo estacionaria



Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier, 2014.

La figura 16 muestra un diamante puesto rígidamente en un mango y el porta-herramientas inclinado 10° , para reducir la vibración.

La herramienta de corte se mueve a través de la superficie de la piedra rectificadora para dar la forma y el corte requerido. Se puede aplicar refrigerante para mantener el diamante a temperatura estable, éste debe ser suministrado desde el comienzo de la operación para evitar choques térmicos.

La figura 16.B ilustra, como la profundidad de corte a_d , el avance de diamantado por revolución de la piedra rectificadora f_d y el ancho de la herramienta de corte b_d crean un canal helicoidal. Estas variables definen el acabado y la forma superficial de la piedra.

3.1.6.3 Relación de traslape

El acabado de la piedra rectificadora depende de la relación de traslape U_d :

Ecuación 5. Relación de traslape

$$U_d = \frac{b_d}{f_d}$$

Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier, 2014.

Un valor alto de esta relación crea una superficie de corte suave pero conduce a mayores fuerzas de rectificado y energía específica de remoción de material (consumo de potencia).

Un valor bajo de esta relación crea una superficie de corte más afilada y rugosidades en la pieza de trabajo más altas.

Usualmente, la relación de traslape puede situarse entre el rango $2 < U_d < 20$.

3.1.6.4 Filo de la herramienta de corte

El acabado de la piedra rectificadora también depende del filo de la herramienta de corte, la cual se define como:

Ecuación 6. Relación de filo de la herramienta de corte

$$\gamma_d = \frac{a_d}{b_d}$$

Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier, 2014.

La relación de filo se puede interpretar como una relación de forma de la piedra.

Una herramienta cónica puntiaguda produce una hélice aguda en la superficie de la piedra, mientras una herramienta redondeada con un radio grande, (relación de filo menor), produce superficies suaves. Sin embargo, las fuerzas durante el diamantado incrementan a medida que la herramienta pierde filo ($\ll \gamma_d$), y es

probable que la precisión del diamantado también se pierda. El resultado final será un acabado superficial pobre e incluso podría producir marcas por la vibración en la pieza de trabajo, éstas se identifican por ondulaciones en la superficie.

3.1.6.5 Diamantado fino y rudo

Un diamantado rudo, emplea valores grandes de a_d y f_d . Se produce una hélice más pronunciada y la densidad de puntas de corte en la superficie de la piedra es reducida. Por esto, el diamantado rudo causa macro-fracturas de los granos removiéndolos completamente durante el proceso de rectificado.

En un diamantado fino, ambos valores a_d y f_d son pequeños. La operación de diamantado se completa con una o más pasadas donde $a_d \cong 0$. Inmediatamente después del diamantado, la rugosidad de la pieza de trabajo decrece pero incrementa el desgaste de la piedra. Con el diamantado fino, la densidad de puntas de corte se incrementa y la superficie de la piedra es más cerrada. Produce una piedra desafilada y agrietamientos en los granos. Los resultados son altos consumos de potencia inicial y altas fuerzas de rectificado.

Tabla 2. Valores típicos de profundidad de corte y avance en el diamantado

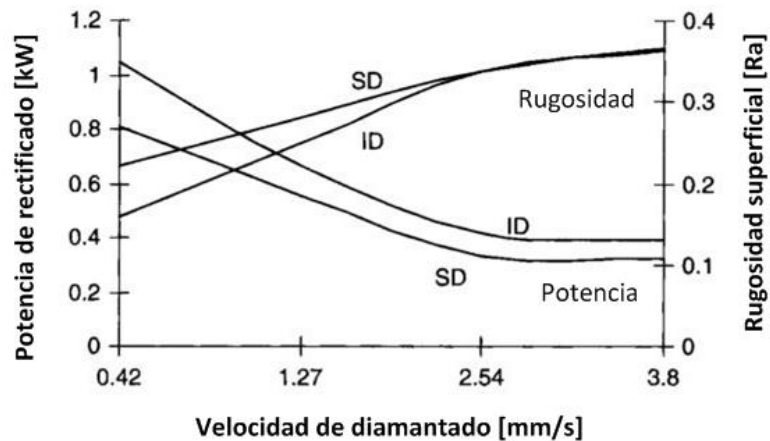
Diamantado fino		Diamantado rudo	
a_d [μm]	f_d [$\frac{mm}{rev}$]	a_d [μm]	f_d [$\frac{mm}{rev}$]
5	0,05	25	0,25
a_d [in]	f_d [$\frac{in}{rev}$]	a_d [in]	f_d [$\frac{in}{rev}$]
0,0002	0,002	0,001	0,01

Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier, 2014.

3.1.6.6 Velocidad transversal de rectificado

Como se muestra en la figura 17, la velocidad de diamantado transversal afecta directamente el consumo de potencia en el rectificado y la rugosidad de la pieza de trabajo.

Figura 17. Efectos de la velocidad de diamantado transversal en la potencia de rectificado y acabado superficial con un punta de diamante sencillo (SD) y con una herramienta de corte impregnada de diamantes (ID).



Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier, 2014.

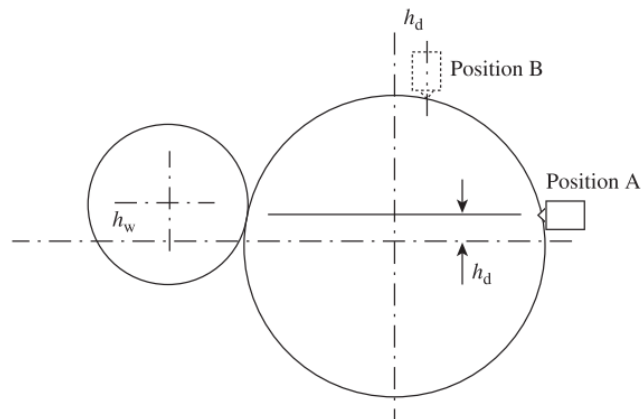
De la gráfica anterior se puede observar que, la rugosidad superficial aumenta con el incremento de la velocidad transversal, mientras que la potencia de rectificado decrece. También, se puede notar que para ambas herramientas, el corte de la piedra aumenta con la velocidad transversal. Sin embargo, la punta de diamante da mejor filo, aunque la herramienta impregnada de diamante es más consistente en el tiempo. Además, la punta de diamante necesita ajustarse con mayor frecuencia.

3.1.7 Influencia del diamantado de la piedra reguladora en la pieza de trabajo.

El rectificado de la piedra reguladora es un poco más complejo, por el ángulo ϕ utilizado para la generación del movimiento. También porque la sección transversal de la piedra es hiperboloide (trabajo con cilindros lisos) en lugar de ser rectangular como es el caso en el que la inclinación ϕ es cero (trabajo con cilindros con cejas). En consecuencia, se debe asegurar una exacta configuración de la línea de corte para asegurar el contacto con la pieza de trabajo. Una mala configuración lleva a errores de conicidad y a rectificados toscos en la pieza de trabajo.

Según Rowe¹⁴, la posición de la punta rectificadora depende de la configuración de la máquina y su diseño. Algunas alternativas se muestran en la figura a continuación.

Figura 18. Posiciones alternativas para ubicar la punta rectificadora



Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier, 2014

¹⁴ Ibíd. P. 274.

Posición A: La herramienta de corte se mueve a lo largo de una trayectoria horizontal directamente opuesta y a la misma altura del contacto de la pieza de trabajo con la piedra reguladora. Esto asegura que la piedra reguladora pueda lograr un apoyo en línea recta con la pieza de trabajo a la altura correcta para rectificar h_d . La altura h_d está relacionada con la altura de la pieza de trabajo h_w mediante la siguiente ecuación:

Figura 19. Altura de rectificado: Posición A

$$h_d = h_w * \frac{d_c}{d_c + d_w}$$

Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier, 2014

Donde d_c es el diámetro de la piedra reguladora y d_w es el diámetro de la pieza de trabajo.

Posición B: (Posición característica del activo M017), la unidad rectificadora se debe rotar relativamente al plano de la línea de contacto. La rotación es hecha en un plano paralelo a la tangente de la piedra de control. Los ajustes dependen del diámetro de la pieza de trabajo. El ángulo relativo de la herramienta de corte, para efectos prácticos, se puede considerar igual al de la piedra y está dado por la siguiente ecuación:

Figura 20. Ángulo de rectificado: Posición B

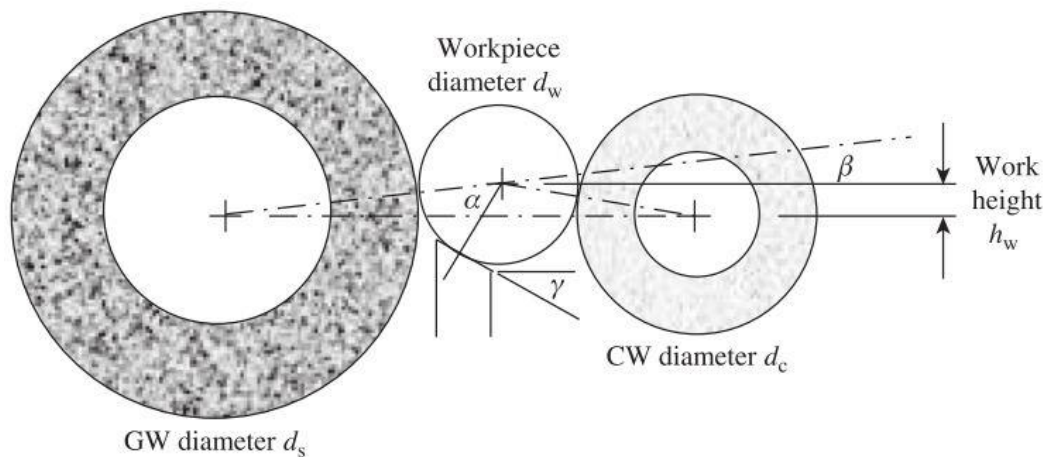
$$\phi_d = \frac{\Phi}{\sqrt{1 + d_w/d_c}}$$

Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier, 2014.

3.1.8 Influencia de la posición de la pieza de trabajo en errores de redondez

Las variables que más influyentes en la configuración de la pieza de trabajo son: el ángulo de la reglilla γ y la altura de la pieza de trabajo h_w , el diámetro de la pieza d_w es función del lote que se está trabajando y el diámetro de la piedra rectificadora d_s y reguladora d_c , dependen del desgaste de las mismas. El ángulo de contacto con la reglilla α y el ángulo tangente β (contacto con la rectificadora), son inherentes a las demás configuraciones. Se busca que los ángulos de contacto ejerzan una acción positiva de rectificado durante el proceso.

Figura 21. Configuración geométrica del rectificado sin centros exterior



Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology* [online]. Elsevier, 2014.

Ángulo de la reglilla: La punta de la reglilla usualmente tiene una inclinación de $\gamma = 30^\circ$. Algunos valores favorecen más el redondeo que otros, por ejemplo $\gamma = 15^\circ$ podría ser considerado.

Altura de la pieza de trabajo: La altura h_w , generalmente se ubica por encima del centro de las piedras, el objetivo es que se dé el mejor ángulo tangente β para el redondeo.

Ángulo tangente: El rango $6^\circ < \beta < 8^\circ$ es considerado como óptimo para el rectificado de acabado. Según lo sugiere Harrison y Pearce¹⁵, desarrollar el rectificado a dos diferentes alturas reduce los errores de redondeo. Por ejemplo, un rectificado fuerte puede ser realizado con la máquina ajustada para un $\beta = 4^\circ$, seguidamente se puede realizar un rectificado fino a un ángulo $\beta = 7^\circ$. Alternativamente, el procedimiento inverso se puede emplear, ángulo grande para rectificado fuerte y redondeo rápido, y uno más pequeño para acabado superficial.

La altura de la pieza de trabajo se determina por la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Altura de la pieza de trabajo

$$h_w = \frac{\beta/2}{\frac{1}{d_s + d_w} + \frac{1}{d_c + d_w}}$$

Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier, 2014.

El ángulo β se expresa en radianes. El ángulo α está dado por:

¹⁵ HARRISON, A.J.L., PEARCE, T.R.A. *Reductions of lobing in centerless grinding via variation of set-up angles* [en línea]. Trans Tech Publications, Suiza 2004. [Consultado: 13 Abril 2014]. Disponible en: <http://www.scientific.net/KEM.257-258.159>. P. 159-164, 257-258.

Ecuación 8. Ángulo de contacto con la reglilla

$$\alpha = \pi/2 - \gamma - \beta_s$$

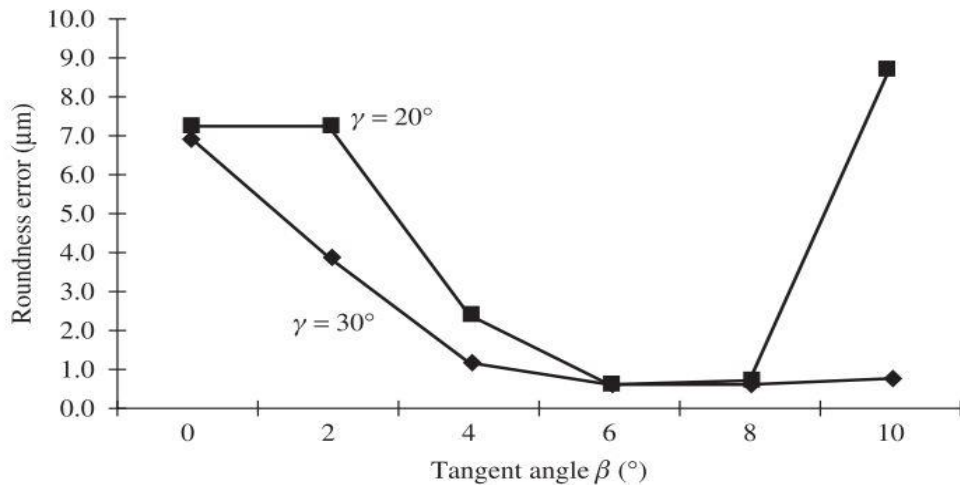
$$\sin \beta_s = \frac{2 * h_w}{d_s + d_w}$$

Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier, 2014.

3.1.8.1 Validación de la investigación de la influencia de la posición

La anterior formulación fue desarrollada por Rowe y demostrada experimentalmente por él mismo. La conclusión, para dos tipos de reglillas diferentes se muestra a continuación.

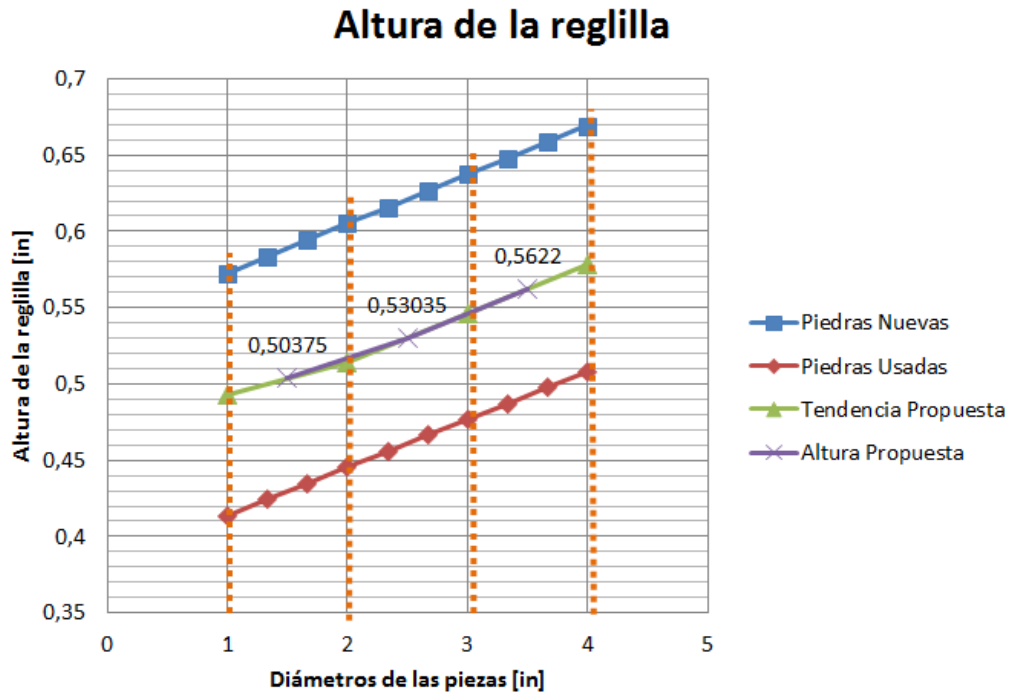
Figura 22. Errores experimentales de redondeo después del rectificado de una pieza con un error inicial de planicie de 46µm de profundidad.



Fuente: ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Elsevier, 2014.

De la gráfica, se puede ver que el ángulo $\gamma = 30^\circ$ da una acción de redondeo más fuerte y estable que la de $\gamma = 20^\circ$.

Figura 23. Altura de la reglilla por encima de los centros de las piedras vs. diámetros comunes trabajados en Lavco Ltda.



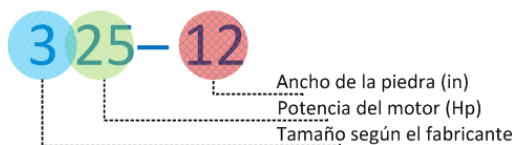
Fuente: los autores

3.2 RECTIFICADORA SIN-CENTROS CINCINATTI M017

3.2.1 Descripción general del activo M017


El activo M017 es una rectificadora sin centros de marca Cincinatti (Estado Unidos), su designación es 325-12, cuyos dígitos corresponden a la serie, potencia del motor principal en caballos (HP) y ancho máximo de la piedra rectificadora en pulgadas (in).

Figura 24. Designación del fabricante Cincinatti 325-12



Fuente: Cincinatti Milling Machine Co.

Tabla 3. Ficha de identificación del activo M017

Ubicación	Código	M017	
Clasificación	Equipo	Rectificadora	
	Tipo	Sin-centros (seca-ceja)	
	Aplicación	Rectificado exterior cilindros	
Instalación	Código	MEC	
	Categoría	Mecanizado	
	Operación	Manual	
Datos de la unidad de equipo	Descripción	Rectificadora sin-centros marca CINCINATTI serie 325-12, para rectificado de camisas seca-lisa y con ceja. La máquina cuenta con dos sistemas hidráulicos, uno para la lubricación de los husillos y el movimiento del sistema de diamantado y el otro para impulsar el refrigerante en la pieza de trabajo.	

Fuente: Los autores

El activo tiene una capacidad de trabajo para cilindros huecos, con las reglillas actuales, de 25 hasta 101,6 milímetros de diámetro y longitud, determinada por el ancho de las piedras reguladora y rectificadora, de mínimo 203,2 y máximo 304,8 milímetros.

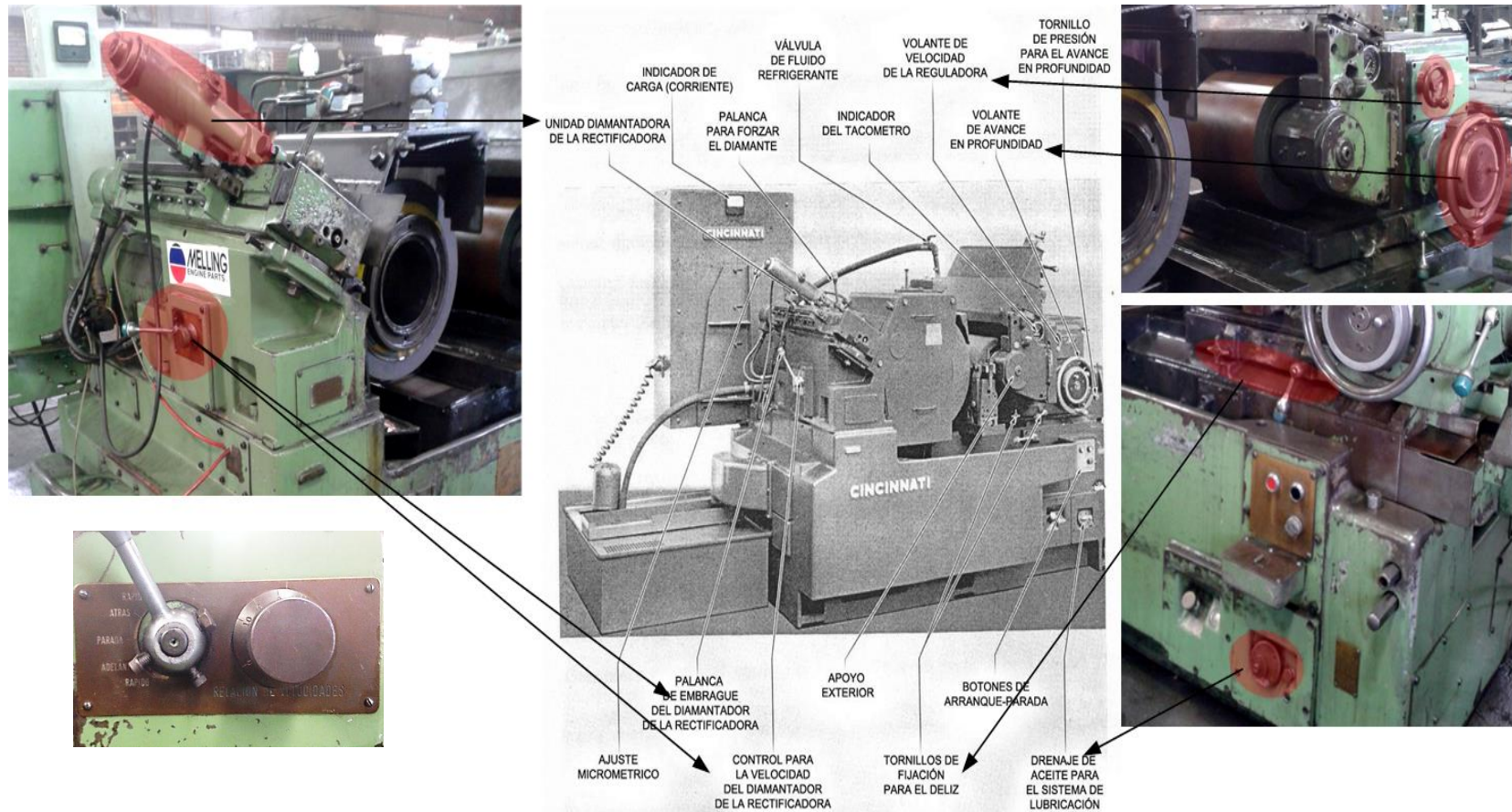
Tabla 4. Características actuales del activo M017

Fabricante	Nombre	CINCINATTI			
	Designación/Serial	SERIE 325-12			
Características	Nombre	Descripción		Unidades	
	Capacidad de rectificado	Max. Con Piedra Nueva	Diámetro: 15,24		cm
		Cilindros huecos Nominal	Diámetro: 2,5 a 10,16		cm
	Piedra Rectificadora	Diámetro Máximo	60,96		Cm
		Diámetro Mínimo	40,64		Cm
		Ancho	20,32 a 30,48		Cm
		Cubo	30,38		Cm
	Piedra Reguladora	Diámetro Máximo	35,56		Cm
		Diámetro Mínimo	26,035		Cm
		Ancho	20,32 a 30,48		Cm
		Cubo	12,7		cm
	Vel. Rectificadora	1000		RPM	
	Vel. Reguladora	Velocidad de Trabajo	56		RPM
		Vel. para Rectificar la piedra	300		RPM
	Motor Rectificadora	Potencia	18.5		kW
		Velocidad	1455		RPM
		Transmisión	Correas		7 - Tipo V
	Motor reguladora	Potencia	1.1		kW
		Velocidad	1420		RPM
		Transmisión	1 Correas, engranajes y 4 Cadena		
	Equipo sistema refrigerante	Motor	0.35		kW
			2820		RPM
		Bomba	Centrifuga sumergible		
			30		LPM
	Tanque	75		GAL	
	Equipo sistema lubricante	Motor	3		HP
			1726		RPM
		Bomba	Gerotor		
5			GPM		
Tanque		1.2		kg/cm ²	
Dimensiones	241,935 x 140,375		cm		
	Altura Piso – Centro Ruedas	42,25		cm	
Peso	8.4		ton		

Fuente: Los autores

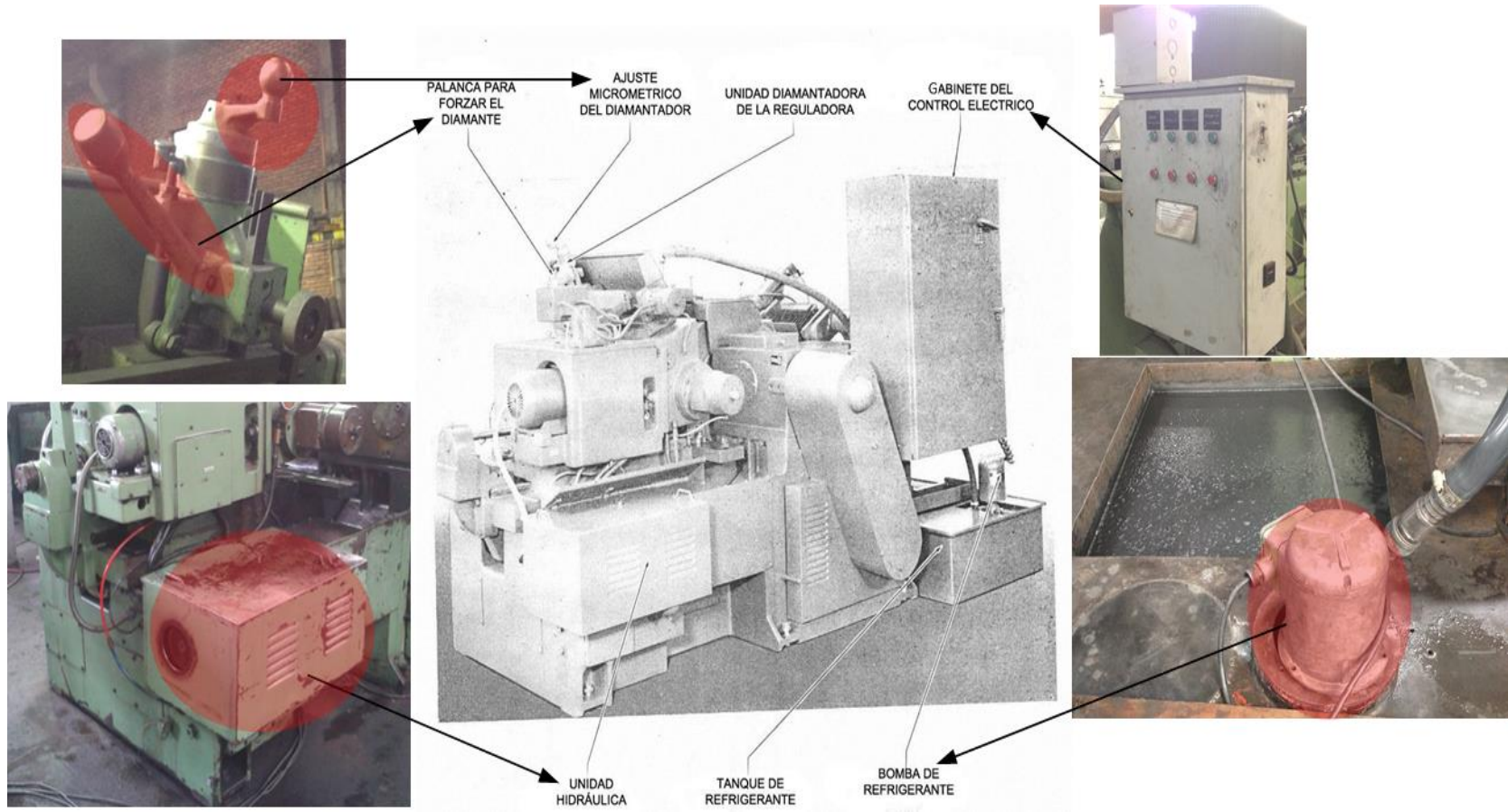
3.2.2 Diagramas funcionales del activo M017

Figura 25. Diagrama funcional del activo M017 (Vista frontal)



Fuente: Los autores.

Figura 26. Diagrama funcional del activo M017 (Vista trasera)




Fuente: Los autores

3.3 RECTIFICADORA SIN-CENTROS JOTES M018

3.3.1 Descripción general del activo M018

El activo M018 es una rectificadora sin centros de marca Jotes (Polonia), su designación es SBB-75.

Tabla 5. Ficha de identificación del activo M018

Ubicación	Código	M018	
Clasificación	Equipo	Rectificadora	
	Tipo	Sin-centros (seca - lisa)	
	Aplicación	Rectificado exterior cilindros	
Instalación	Código	MEC	
	Categoría	Mecanizado	
	Operación	Manual	
Datos de la unidad de equipo	Descripción	Rectificadora sin centros marca JOTES serie SBB-75 para rectificado de camisas seca - lisa, cuenta con dos sistemas hidráulicos, uno para la lubricación del husillo y el sistema de diamantado, y el otro para refrigeración de las piezas de trabajo	

Fuente: los autores

El activo tiene una capacidad de trabajo para cilindros huecos, con las reglillas actuales, de 5 hasta 75 milímetros de diámetro y longitud máxima de 180 milímetros.

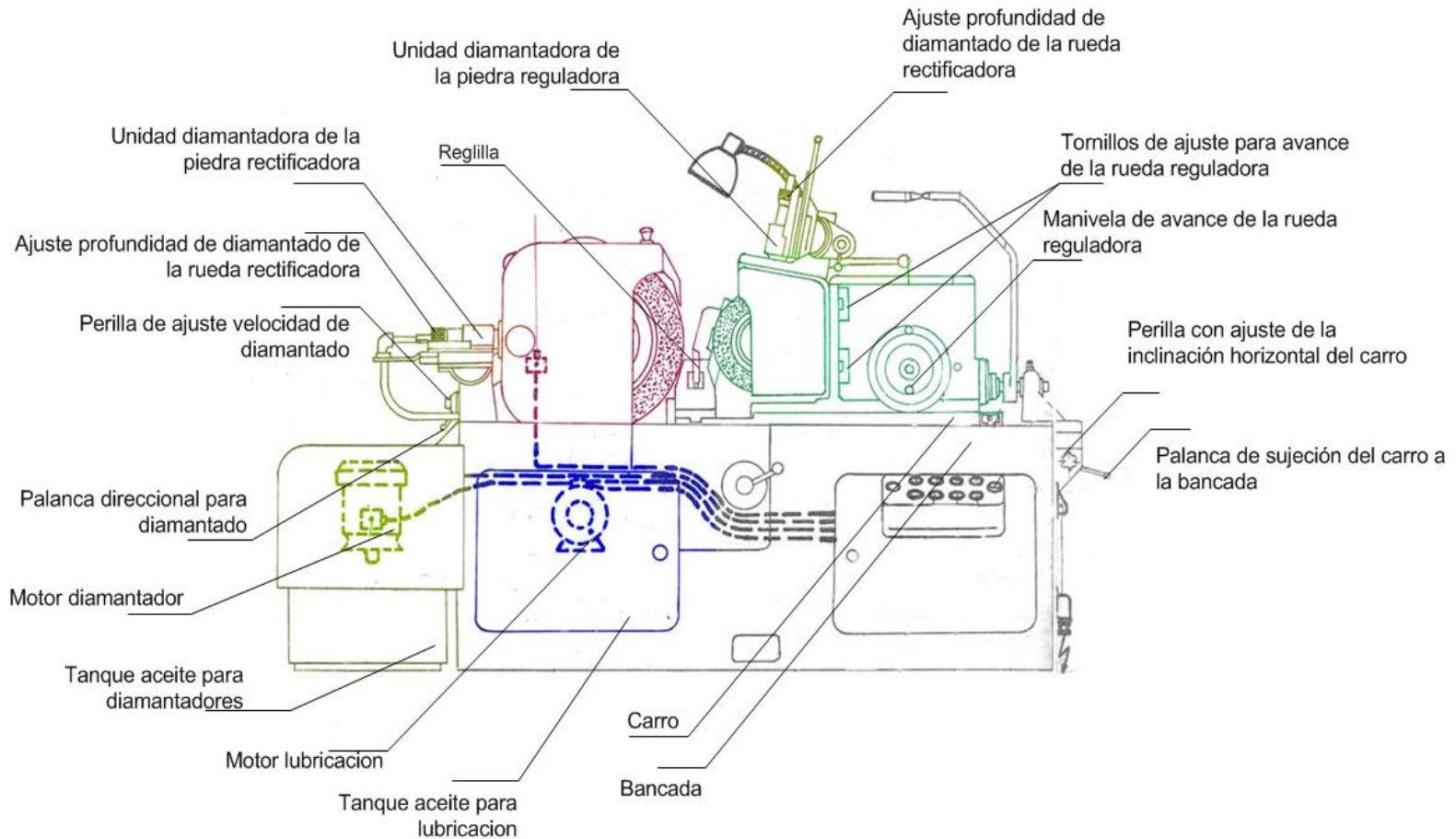
Tabla 6. Características actuales del activo M018

Fabricante	Nombre	JOTES			
	Designación/Serial	MODELO SBB- 75/SERIE NR 439			
Características	Nombre	Descripción		Unidades	
	Capacidad	D_max:	75	mm	
		D_min:	5	mm	
		Long_max:	180	mm	
	D_rec	φ 500 / φ 390		mm	
	Ancho_rec	150		mm	
	D_cubo_rec	φ 305		mm	
	D_regu	max: φ300 / min: φ260		mm	
	Ancho_reg	150		mm	
	D_cubo_reg	φ 127		mm	
	Vel_rec	1000		RPM	
	Vel_reg	Trabajo: 80		RPM	
		Rectificado de la piedra: 300		RPM	
		17		HP	
	Motor_Rec	velocidad: 1500		RPM	
		Transmisión: 6 correas V			
		Potencia: 1,07		HP	
	Motor_reg	velocidad: 1000		RPM	
		Transmisión: engranajes			
		Sist_refrigerante	Motor	Potencia: 0.5	HP
	Velocidad: 2820			RPM	
	Bomba centrífuga sumergible		40	lt/min	
			1,5	kg/cm^2	
	Tanque	276.3	lit		
	Imantador	Potencia	1,4	HP	
			Velocidad motor	1700	RPM
			Velocidad imán	12	RPM
	Sist_lubricante	Motor	Potencia	0,5	HP
			Velocidad	1500	RPM
		Bomba de paletas	Caudal	6,3	lt/min
			Presión	0,8	kg/cm^2
	Tanque	35	lit		
Sist_Hidráulico_Diamantador	Motor	Potencia	1,07	HP	
		Velocidad	1500	RPM	
	Bomba de engranajes	Caudal	25	lt/min	
		Presión	8	kg/cm^2	
Tanque	75	lit			
Dimensiones	Altura	2520	mm		
	Longitud	1740	mm		
	Ancho	1700	mm		
Peso	4000		kg		

Fuente: los autores

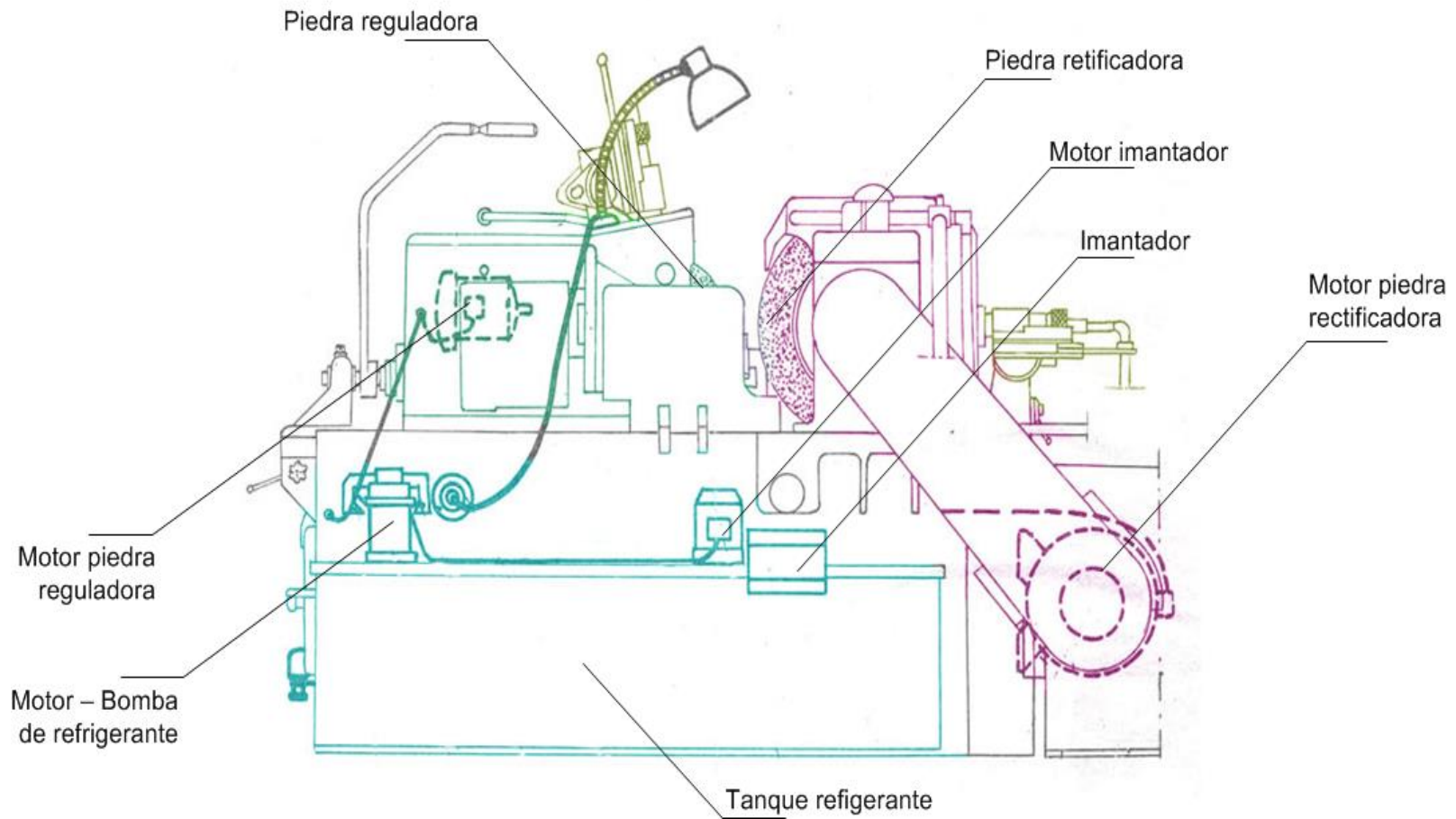
3.3.2 Diagramas funcionales del activo M018

Figura 27. Diagrama funcional del activo M018 (Vista frontal)



Fuente: Los autores

Figura 28. Diagrama funcional del activo M018 (Vista trasera)



Fuente: los autores

4. MARCO TEÓRICO

4.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II)

La confiabilidad se define, según Cabrera¹⁶, como la probabilidad de que un activo (o conjunto de activos) desempeñe su función, libre de fallos, y bajo determinadas condiciones, durante un periodo de tiempo también determinado. Es una medida de la seguridad y del riesgo, es un grado de confianza.

Por otro lado, según Moubray¹⁷, mantener significa preservar algo. Sin embargo, cabe la duda de ¿qué es lo que se desea preservar? La respuesta a este interrogante, parte del hecho de que todo bien físico se pone en servicio porque alguien desea que cumpla o realice una tarea. En otras palabras, esperan que éste cumpla una o más funciones.

Haciendo una sinergia entre los dos anteriores conceptos, se puede decir que el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), es un proceso enfocado a la preservación de las funciones del activo (o activos) que está bajo un contexto operativo determinado, o como lo define Nabhan¹⁸: RCM no es nada más que la manera lógica de identificar que equipos requieren mantenimiento, basado en la prevención en lugar de llevarlo a la falla (run-to-failure - RTF).

¹⁶ CABRERA, Sexto. La confiabilidad integral del activo. 2008. Vol. 1, p. 49–56.

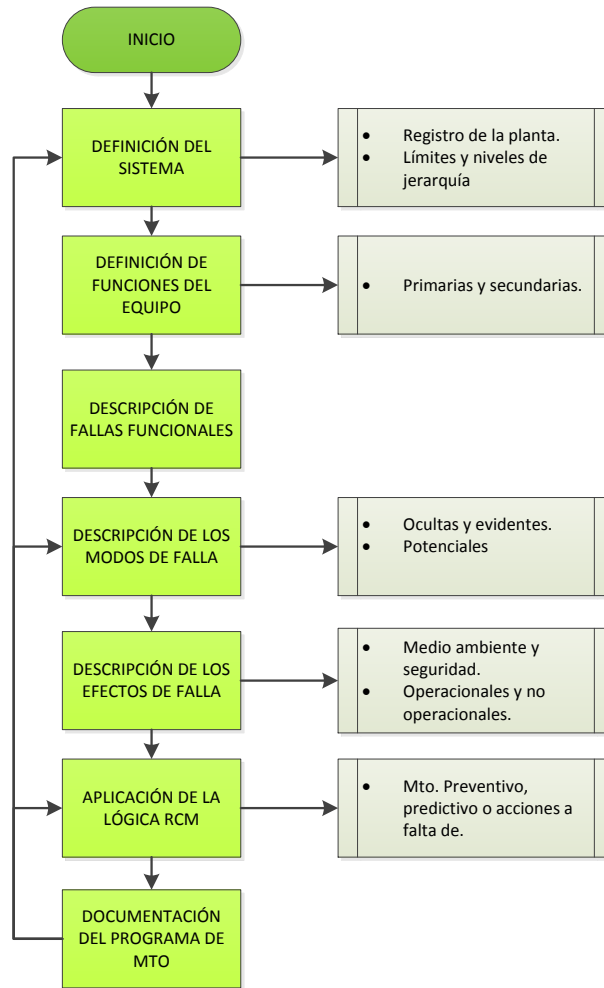
¹⁷ MOUBRAY, John. *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. 2da. [no date]. P. 11.

¹⁸ NABHAN, M Bassam. Effective implemetation of reliability centered maintenance. 2010. P. 88–96.

4.2 FASES PARA LA APLICACIÓN DEL RCM II

A continuación se muestra un esquema general del proceso RCM.

Figura 29. Diagrama de flujo del RCM



Fuente: los autores

4.2.1 Definición de activo

La norma SAE JA 1012¹⁹, establece que para identificar apropiadamente las políticas de manejo de fallas, el activo debe ser definido. Esto implica, seleccionar los activos, definir sus límites e identificar el nivel de detalle más apropiado al cual se llevará a cabo el análisis.

4.2.1.1 Priorización de activos y establecimiento de objetivos

Dado que un proceso de RCM demanda tiempo y dinero, las empresas pueden establecer si están en capacidad de aplicar RCM a todos sus activos o solamente a algunos. El proceso RCM establecido por la norma SAE JA1011, parte del supuesto de que el activo en cuestión ya ha sido seleccionado y definido. Algunas técnicas como el análisis de criticidad basado en factores de riesgo pueden proporcionar una idea de que activos requieren prioritariamente el análisis RCM.

Como consecuencia, antes de designar recursos es esencial establecer la extensión a la cual se espera mejorar el desempeño en alguna o en todas las áreas mostradas a continuación:

- Seguridad.
- Integridad ambiental.
- Desempeño operativo.
- Rentabilidad.
- Calidad del producto y servicio al cliente.
- Eficiencia del mantenimiento.

¹⁹ SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. *A guide to the reliability-centered maintenance (RCM) standard - SAE JA 1012*. 2002.

- Motivación individual.
- Trabajo en equipo.
- Rotación de personal.
- Seguimiento de auditoría.

4.2.1.2 Nivel de análisis y límites del activo

Establecer los niveles de análisis implica identificar los subsistemas más importantes y excluir aquellos que son insignificantes o que por su grado de complejidad deban analizarse por aparte. El grado de detalle depende de si es un análisis completo o parcial, si existe un análisis previo y la complejidad de la etapa que se esté tratando.

La elección del nivel de análisis es tal que permita identificar las funciones de una forma comprensible, identificar un número manejable de modos de falla por función y permita evaluar las consecuencias de fallas sin dificultad. La elección lógica es un nivel intermedio en el cual sea posible identificar un número manejable de modos de falla y evaluar sus consecuencias sensatamente.

4.2.2 Esquema general del proceso: preguntas básicas del RCM.

Según la norma SAE JA 1011²⁰, cualquier proceso RCM se asegurara de que todas las siguientes preguntas sean respondidas satisfactoriamente y en la secuencia que se muestra a continuación:

- ¿Cuáles son las funciones y los desempeños estándar asociados al activo en su presente contexto operacional? (Funciones).

²⁰ SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. *Evaluation criteria for reliability-centered maintenace (RCM) processes - SAE JA 1011*. 1999.

- ¿En qué formas puede fallar en el cumplimiento de sus funciones? (Fallas funcionales).
- ¿Qué causa cada falla funcional? (Modos de falla).
- ¿Qué sucede cuando cada falla ocurre? (Efectos de falla).
- ¿De qué manera importa cada falla? (Consecuencias de falla).
- ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla? (Tareas proactivas e intervalos de tareas).
- ¿Qué debe hacerse si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada? (Acciones por defecto).

4.2.3 Funciones

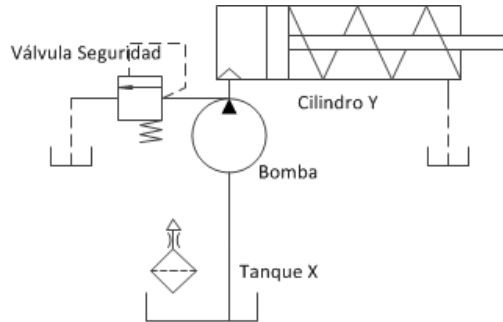
El objetivo de esta etapa es responder a la primera pregunta planteada por el procedimiento RCM, la cual es: ¿cuáles son las funciones y los parámetros deseados asociados al activo en su presente contexto operacional?

Es importante describir el activo de forma general, especificando la forma en que es usado, el lugar donde es usado, los parámetros técnicos más relevantes de su desempeño como, variables de salida, rendimiento, seguridad, integridad ambiental, etc. de esta manera es más fácil determinar las funciones principales y secundarias.

La norma SAE JA 1011²¹ sugiere describir las funciones utilizando un verbo, un objeto y un desempeño deseado cuantificándolo cuando sea posible. Un ejemplo se puede observar en la siguiente figura:

²¹ Ibíd.

Figura 30. Ejemplo de la descripción de una función.



BOMBLEAR ACEITE DEL TANQUE X AL CILINDRO Y A NO MENOS DE 80 LITROS POR MINUTO
Verbo Objeto Desempeño deseado Desempeño cuantitativo / cualitativo

Fuente: Los autores

Un elemento de protección, como una válvula de seguridad, requiere más detalle por ejemplo; “Ser capaz de aliviar la presión en la línea si esta excede 100 psi”.

- **Funciones primarias y secundarias:** La función primaria satisface la razón por la cual cualquier organización adquiere un activo. Las funciones secundarias complementan las primarias. Por ser menos obvias que las principales, frecuentemente requieren más atención, por lo tanto deben ser identificadas claramente.

Algunas funciones secundarias llevan implícitas temas como integridad ambiental, seguridad, integridad estructural, control, contención, confort, apariencia, protección y rentabilidad.

4.2.4 Fallas funcionales

Conforme a lo estipulado, el proceso RCM debe responder a la pregunta ¿en qué formas puede el activo fallar en el cumplimiento de sus funciones? Para responder esta pregunta, es necesario definir que es una falla funcional. Según la norma

SAE JA 1011²², una falla funcional es un estado en el cual un activo físico o sistema se encuentra inhabilitado para desarrollar una función específica al nivel de desempeño deseado.

Dado que es posible que un activo tenga más de una función (principal y/o secundaria), así mismo es posible que cada una de estas funciones falle, teniendo como resultado múltiples estados de falla. Estas fallas se definen en función de las funciones específicas, pudiendo ser totales o parciales.

- **Falla total y parcial:** Las fallas totales representan por completo la pérdida de la función principal mientras que las fallas parciales pueden satisfacer la función principal pero dejar a un lado el desempeño deseado.

Las fallas se deben definir en términos de la función específica, en la cual el desempeño estándar define el límite entre el estado de falla y el evento que la causa. A su vez, se deben definir las fallas funcionales para cada límite de funcionamiento separado, y tratar las fallas funcionales de los elementos de medición, indicadores y sistemas de protección para los límites inferiores y superiores.

4.2.5 Modos de falla

Esta etapa responde a la pregunta ¿Qué causa cada falla funcional? Según la norma SAE JA 1011²³, los modos de falla son eventos sencillos que causan las fallas funcionales. Moubray²⁴, los define como: cualquier suceso que cause una falla.

²² Ibíd. P. 2.

²³ Ibíd. P. 2.

²⁴ MOUBRAY, John. *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. 2da. 1997. P. 53.

La descripción de un modo de falla debe consistir como mínimo de un sustantivo y un verbo y debe contener detalles suficientes para que sea posible seleccionar una estrategia apropiada para el manejo de fallas, pero no una cantidad tal que se pierda demasiado tiempo en el proceso de análisis.

4.2.5.1 Nivel de detalle

Es difícil decidir si un modo de falla puede ocurrir o si debe ser incluido. Este problema tiene que ver con la probabilidad de ocurrencia y el nivel de detalle usado para describir los modos de fallas.

La decisión de incluir un modo de falla debe estar acorde con las consideraciones de sus consecuencias. Si las consecuencias son severas, entonces los modos de fallos menos probables deben incluirse y someterse a análisis adicionales.

4.2.5.2 Categoría de modos de fallos

Todas las posibles causas de fallos, como el deterioro, defectos de diseño e imprecisión humana, tanto si son causadas por el operario o por los mantenedores, deben incluirse en los modos de falla.

Algunos de los modos más comunes se describen a continuación:

Capacidad decreciente: ocurre cuando la capacidad del activo, a partir de un estado superior al rendimiento deseado, empieza a desmejorar. Cubre todas las formas de uso y desgaste como la fatiga, corrosión, abrasión, erosión, degradación (aislamientos, lubricantes, etc.). Estos modos de fallas deben incluirse en el análisis.

Según Moubray²⁵, las 5 causas principales de una capacidad reducida son:

- **Deterioro:** provocados por los esfuerzos.
- **Fallas de lubricación:** por falta de lubricación y deterioro del lubricante en sí mismo.
- **Suciedad:** causan bloqueos, atascamientos o adhesiones, se relaciona con funciones de apariencia y calidad del producto.
- **Desmontaje:** fallas en soldaduras de uniones o remaches, debidas a fatiga o corrosión, fallas en pasadores de aletas o tuercas de seguridad.
- **Imprecisión humana:** su redacción debe detallar que imprecisión hubo y no quién lo cometió.

Insuficiente capacidad inicial: la configuración de un activo puede impedir el cumplimiento de los requerimientos funcionales en el contexto operacional. Si dichos defectos son conocidos, entonces las políticas del mantenimiento se deben enfocar en detectarlas y corregirlas. Estos modos de falla deben ser listados.

Aumento del funcionamiento deseado (o del esfuerzo aplicado): muchas fallas funcionales son causadas cuando el esfuerzo aplicado a un activo incrementa más allá de su capacidad. En la práctica, estos incrementos de esfuerzos son usualmente aplicados por los seres humanos. Según Moubray²⁶, estos errores ocurren usualmente por alguna de las siguientes razones:

- **Sobrecarga sostenida deliberada:** sucede cuando los usuarios desean incrementar la producción o procesar productos distintos a los que

²⁵ Ibíd. P. 57.

²⁶ Ibíd. P. 60-63.

originalmente procesa. Las opciones son modificar el activo, para mejorar su capacidad inherente, o disminuir las expectativas y operar dentro de los límites de capacidad del equipo.

- **Sobrecarga sostenida inintencionada:** ocurre cuando en algunas industrias adoptan programas para desarmar cuellos de botella, aumentando la capacidad de un equipo de producción. Sin embargo, algunos subsistemas no son actualizados, causando problemas.
- **Sobrecarga repentina inintencionada:** provocados por operación o montaje incorrecto y daño externo
- **Material de proceso incorrecto:** las maquinas fallan porque no pueden manejar algunos materiales que están fuera de la especificación.

4.2.6 Efectos de falla

Esta etapa responde la pregunta planteada por el proceso RCM, ¿Qué sucede cuando cada falla ocurre? Los efectos de falla describen lo que podría pasar si no se hace una específica tarea para anticipar, prevenir o detectar una falla.

El proceso RCM aclara la diferencia entre un efecto de falla (lo que sucede) y una consecuencia de falla (como y que tanto, el modo de falla importa). El efecto de falla se usa para evaluar las consecuencias de cada modo de falla. También, proporcionan la información básica para decidir qué política de mantenimiento se debe implementar.

Las principales políticas de mantenimiento incluyen, tareas de mantenimiento proactivo (a condición, restauración programada, y descarte programado), junto con las frecuencias asociadas. Es importante partir del supuesto de que ninguna acción de mantenimiento programado se está llevando a cabo.

Los modos de falla y sus efectos, deben ser descritos con total coherencia.

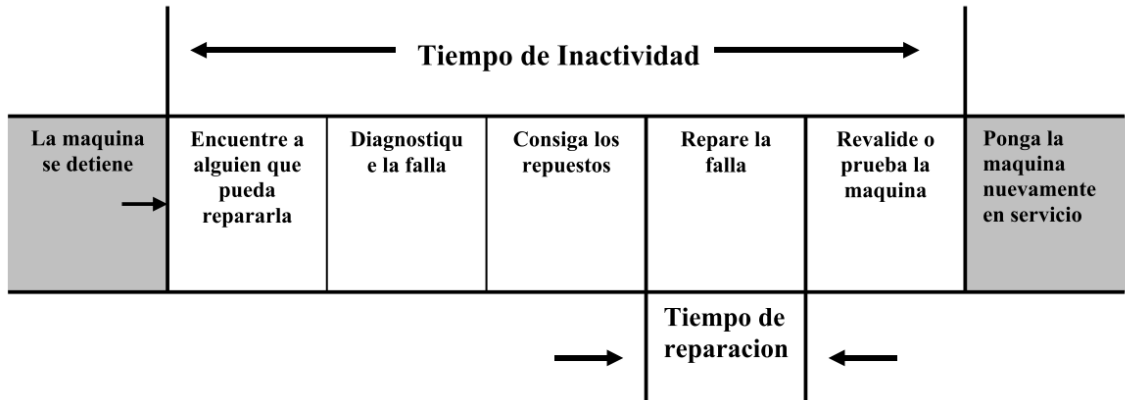
4.2.6.1 Descripción de los efectos de falla

En garantía de establecer información valiosa para la evaluación de los efectos, los siguientes aspectos se deben tener en cuenta:

- **Evidencias de fallas que han ocurrido:** Incluye si hay alguna evidencia de que el modo de falla en consideración ha ocurrido. Por ejemplo, si el comportamiento del equipo cambia como resultado del modo de falla (luces, alarmas, cambio en la velocidad, niveles de ruido, etc.) y si se acompaña (o precede) por efectos físicos como ruidos, fuego, humo, escape de vapor, olores inusuales, o escapes de líquidos.
- **Riesgos para la seguridad y medio ambiente:** Contiene información de cómo la falla puede poner en riesgo la integridad de los usuarios. Por ejemplo, riesgo de incendio, explosión, escape de químicos, electrocución, caída de objetos, colapso de estructuras o inundaciones.
- **Efectos sobre la producción u operaciones:** Describe como se afecta la operación y por cuanto tiempo. Esto se establece conociendo el tiempo de inactividad asociado a cada falla.

Tiempo inactivo significa, el monto total de tiempo que estará fuera de servicio, debido a una falla, desde el primer momento en que se presenta hasta que el activo retorne a su normalidad. El tiempo registrado debería estar basado en la típica peor situación posible.

Figura 31. Tiempo de inactividad contra tiempo de reparación



Fuente: Moubray. P. 73.

- **Daños secundarios:** Describe si el fallo tiene efectos sobre en otros componentes o sistemas.
- **Acciones correctivas necesarias:** Incluye una breve descripción de lo que se requiere para corregir el modo de falla.

4.2.7 Hoja de información RCM

Toda la información, hasta la etapa anterior, debe ser codificada y registrada en la siguiente hoja de información RCM. Las funciones se enumeran, las fallas funcionales se nombran con el alfabeto y los modos de falla se enumeran.

Figura 32. Hoja de información RCM

Página 1 Plan de mantenimiento basado en confiabilidad - Rectificadora sin centros M017 - Industrias Lavco Ltda.

Coordinación de mantenimiento mecánico					REV.: 0
Hoja de información RCM					Hoja N°
Sistema		Código		Facilitador	de
Subsistema				Auditor	
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA
EFECTOS DE FALLA					

Fuente: los autores

4.3 MANEJO DE CONSECUENCIAS DE FALLAS

Las consecuencias de falla determinan los esfuerzos necesarios para poder evitar los modos de falla. Si las consecuencias son muy serias, entonces se deberán hacer muchos esfuerzos para prevenir el modo de falla o por lo menos anticiparse a tiempo para reducir o eliminar las consecuencias.

Si el modo de falla tiene consecuencias menores, entonces es posible que no se deban tomar acciones proactivas y simplemente se corrige cuando ocurra.

El manejo de fallas no implica tanto la anticipación o prevención de los modos de falla en sí, sino evitar o reducir sus consecuencias.

4.3.1 Fallas evidentes y ocultas

El proceso RCM comienza separando las fallas ocultas de las evidentes.

Falla evidente: “Modo de falla cuyos efectos se vuelven aparentes al equipo operario bajo circunstancias normales si el modo de falla ocurre por su cuenta”²⁷

Falla oculta: “Modo de falla que ocurre de manera que nadie sabe que el dispositivo está en estado de falla a menos que, o hasta que, alguna otra falla (o evento anormal) también ocurre”²⁸

Las fallas ocultas se presentan generalmente en dispositivos de protección.

Función de protección: “su objetivo es asegurar que la falla de la función protegida sea mucho menos seria de lo que podría ser si no hubiera protección”²⁹

²⁷ SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. *A guide to the reliability-centered maintenance (RCM) standard - SAE JA 1012*. 2002.

²⁸ Ibíd.

²⁹ Ibíd.

Cualquier función de protección hace parte de un sistema con al menos dos componentes:

- La función de protección
- La función protegida

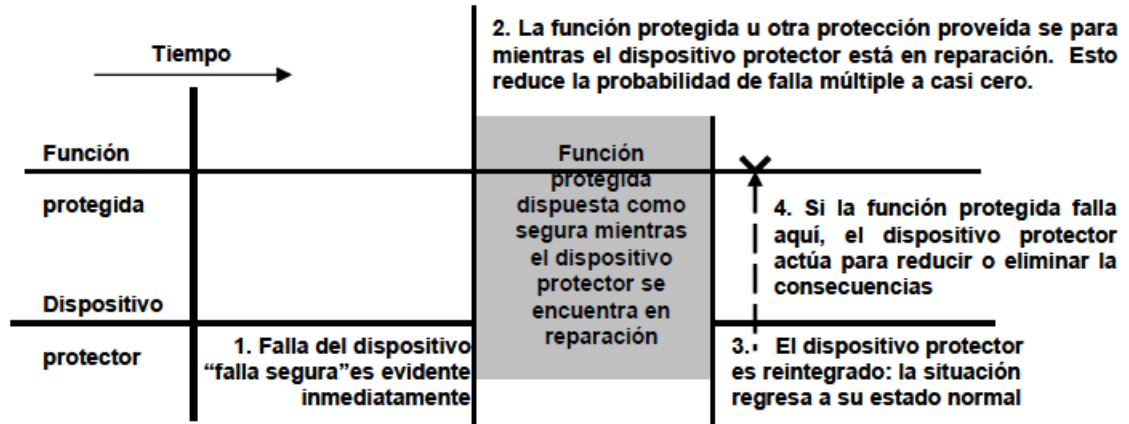
Dependiendo de si la falla de protección es evidente o no, se tienen las siguientes posibilidades:

4.3.1.1 Fallas evidentes de las funciones de protección

El modo de falla se vuelve aparente al equipo operacional. Se despliegan tres posibilidades:

- Ni la función de protección, ni la función protegida falla. En este caso todo procede con normalidad.
- La función protegida falla antes que la función de protección. En este caso la protección lleva a cabo su función prevista y, dependiendo de la naturaleza de la protección, la consecuencia de falla de la función protegida es reducida o eliminada.
- La función de protección falla antes que la función protegida. En esta situación, la posibilidad de que la función protegida falle mientras la función de protección está en estado de falla puede ser eliminada, apagando la función protegida o instalando una protección alternativa hasta que la función de protección sea restaurada.

Figura 33. Falta evidente de una función de protección



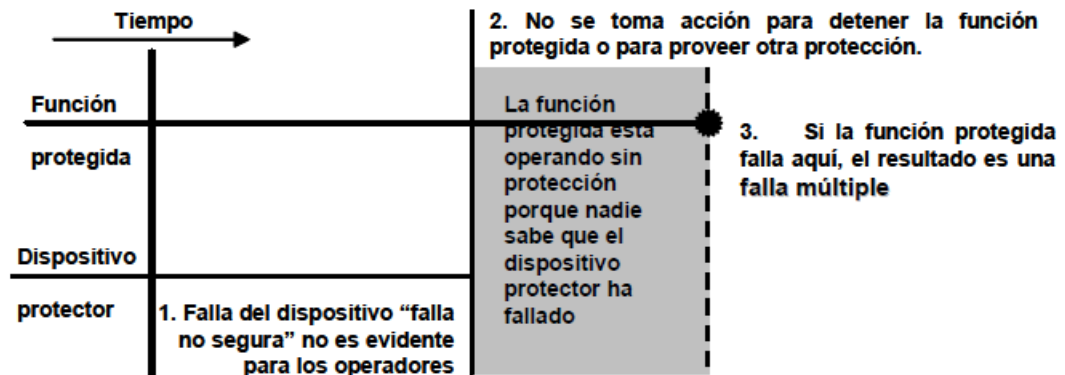
Fuente: SAE JA 1012

4.3.1.2 Fallas no evidentes de las funciones de protección

Si estos modos de falla ocurren, el hecho de que la protección sea incapaz de cumplir con su función prevista no la volverá aparente bajo circunstancias normales. Se despliegan cuatro posibilidades:

- Ninguna función falla, en este caso todo procede normalmente como antes.
- La función protegida falla cuando la protección todavía funciona. En este caso la protección lleva a cabo su función prevista, por lo tanto las consecuencias de la falla de la función protegida son reducidas o eliminadas completamente.
- La protección falla mientras la función protegida está todavía trabajando. En este caso, la pérdida de protección no tiene consecuencias directas. De hecho nadie puede saber que la protección está en estado de fallo.
- Durante cualquier ciclo, la protección falla, entonces la función protegida falla mientras la protección está en estado de falla. Esta situación es conocida como **múltiples fallas**.

Figura 34. Falla oculta de una función de protección



Fuente: SAE JA 1012

El objetivo de un programa de mantenimiento para una función oculta es prevenir o al menos reducir la probabilidad de las fallas múltiples relacionadas.

4.3.2 Consecuencias para la seguridad, medio ambiente y operación.

Según la norma SAE JA 1011³⁰ - sección 5.5.1.2, la categorización de las consecuencias debe distinguir claramente los eventos (modos de falla y múltiples fallas) que tengan consecuencias ambientales o de seguridad de aquellas que solamente tiene consecuencias económicas (operacionales y no-operacionales).

4.3.2.1 Modos de fallas con consecuencias de seguridad y ambientales

Consecuencias de seguridad

Una falla tiene consecuencias de seguridad si, existe una probabilidad intolerable de que alguien pueda morir o quedar afectado gravemente.

³⁰ SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. *Evaluation criteria for reliability-centered maintenace (RCM) processes* - SAE JA 1011. 1999.

Consecuencias ambientales: Una falla tiene consecuencias ambientales si hay una probabilidad intolerable de que se incumplan cualquier norma o regulación ambiental, bien sea, municipal, regional o nacional.

Para modos de falla que tienen consecuencias de seguridad o medioambientales, solo es válido llevar a cabo una tarea proactiva si reduce la tolerabilidad de la falla a un nivel tolerable.

Si no se encuentra una tarea proactiva que logre este objetivo, significa que se está en presencia de un riesgo que no puede ser prevenido o anticipado adecuadamente. Esto implica que se debe modificar el activo, el proceso o el procedimiento para lograr que el sistema sea seguro.

El rediseño persigue dos objetivos:

- Reducir la probabilidad de la falla a un nivel tolerable
- Cambiar aspectos, de modo que la falla no tenga más consecuencias de seguridad o medioambientales.

No se contemplan los costos de la falla en términos financieros. Sino que se tiene la obligación, ya sea de evitar que falle o de hacerlo seguro.

4.3.2.2 Modos de fallas con consecuencias económicas

Consecuencias operacionales: Los equipos en la industria tienen como objetivo primario la generación de ingresos. Las fallas que afectan dicha de generación de ingresos. En general, las fallas afectan la operación de cuatro maneras:

- **Afectan la producción total y el rendimiento:** Ocurre cuando un equipo se detiene totalmente, o cuando comienza a trabajar con lentitud. Esto incrementa los costos por reposición de tiempo o pérdida de ventas.

- **Afectan la calidad del producto:** Si la máquina no puede superar las tolerancias de manufactura, o si las fallas causan el deterioro del material, el resultado es el desecho o reelaboración.
- **Afectan el servicio al cliente:** Desde entregas tardías de órdenes, las demoras frecuentes o de seriedad, traen consigo multas importantes, resultando una pérdida de ingresos. Los problemas de servicio crónico provocan la pérdida de la confianza del cliente, haciendo que se desplacen a la competencia.
- **Incrementan los costos operacionales, además del costo directo de reparación:** Por ejemplo, el aumento en los costos de energía o cambio a un proceso alternativo más costoso

Para modos de falla con consecuencias operativas, es conveniente llevar a cabo un tarea proactiva si, después de un periodo de un determinado tiempo, es menos costosa que las consecuencias operativas más el costo de reparación de la falla que se pretende prevenir.

Si no se puede hallar una tarea proactiva conveniente, entonces no se debe llevar a cabo ningún mantenimiento programado para tratar de anticipar o prevenir el modo de falla en consideración. Lo más conveniente es llevarlo a la falla.

Si no se puede hallar una tarea proactiva conveniente, y las consecuencias de la falla son intolerables, es necesario el rediseño para reducir el costo final por medio de:

- La reducción de la frecuencia de la falla.
- La reducción o eliminación de la consecuencia de la falla.
- La obtención de una buena relación costo-efectividad de una tarea proactiva.

Consecuencias no operacionales: Son las consecuencias de una falla evidente que no tiene efectos adversos en la seguridad, ambiente o capacidad de operación. La únicas consecuencias asociadas con estas fallas son los costos directos de reparación y cualquier daño secundarios, por lo tanto éstas consecuencias son también económicas.

Para los modos de falla con consecuencias no operativas, es conveniente hacer una tarea proactiva si, en un periodo de tiempo el costo de esta es menor, que el de reparar las fallas que pretende prevenir.

4.4 SELECCIÓN DE LA POLÍTICA DE MANEJO DE FALLAS

La selección de las políticas de manejo de fallas, deben tener en cuenta tres aspectos fundamentales: la edad del activo, la factibilidad técnica para su aplicación y los costos.

4.4.1 Influencia de la edad del activo

La norma SAE JA 1011³¹, sección 5.6.1, advierte que la probabilidad de algunos modos de falla en los equipos, incrementan, algunos no cambian y que en otros decrecen con la edad.

Existen seis tipos de formas en las que la probabilidad condicional de falla varía con la vejez.

³¹ SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. *Evaluation criteria for reliability-centered maintenace (RCM) processes - SAE JA 1011*. 1999.

Figura 35. Patrones de falla



Fuente: SAE JA 1012. P. 11, Los autores

En general, los patrones aplican para activos que son muy sencillos, o a equipos complejos con un modo de falla dominante. En la práctica se asocian directamente con el uso (equipos de contacto directo con el producto), fatiga, corrosión, oxidación y evaporación.

4.4.2 Factibilidad técnica

Una tarea programada solamente es meritoria si ésta reduce las consecuencias del modo de falla hasta el punto en que justifique los costos directos e indirectos de su realización.

Cualquier dispositivo de monitoreo que pueda ser agregado al sistema, debe ser sometido al análisis FMEA para determinar las tareas de mantenimiento que dicho dispositivo pueda requerir.

Si no se puede encontrar una tarea programada, y si las consecuencias del modo de fallo no son aceptables, entonces se debe encontrar otra manera de manejar

las consecuencias de fallas, por supuesto, esta forma también debe ser técnicamente factible.

Si una política es o no factible, depende de las características técnicas de la política y del modo de fallo bajo consideración.

4.4.3 Rentabilidad

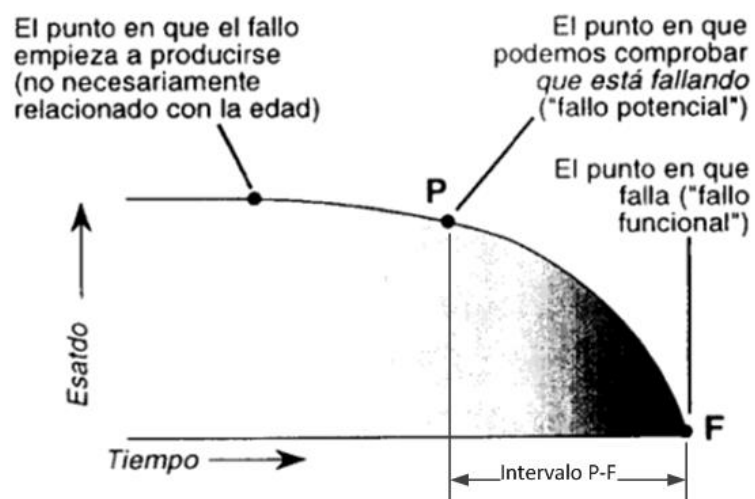
Un proceso RCM, aplicado correctamente, siempre se esfuerza por seleccionar la política que trate de manera satisfactoria las consecuencias del modo de fallo de la manera más económica, en lugar de seleccionar siempre la política con la mayor sofisticación técnica.

4.5 MANEJO DE FALLAS - TAREAS PROGRAMADAS

4.5.1 Tareas predictivas – bajo condición

Una falla potencial se define como una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está ocurriendo. Si esta condición puede ser detectada, es posible tomar acción para prevenir el modo de fallo y evitar así su consecuencia.

Figura 36. Curva P-F



Fuente: Moubray. P.136.

La figura anterior, señala los puntos P (donde se puede detectar la falla) y el F (donde ocurrió la falla funcional). Si una falla se detecta dentro de estos dos puntos, es posible tomar una acción para prevenir la falla funcional y evitar sus consecuencias. A estas tareas se les conoce como preventivas o bajo condición.

Son llamadas bajo condición, porque los activos que son inspeccionados se dejan en servicio bajo la condición de que cumplan su desempeño especificado hasta antes de la siguiente revisión.

Los criterios de factibilidad se listan a continuación:

- Debe existir una falla potencial claramente definida.
- Debe existir un intervalo PF identificable.
- El intervalo de tareas debe ser menor que el intervalo PF más corto probable.
- La tarea debe ser físicamente posible de poderse hacer a intervalos menores que el intervalo PF.
- Si la tarea se programa a una fracción muy pequeña del intervalo P-F, los recursos serán desperdiciados en el proceso de revisión.

En la práctica, los intervalos más cortos de tareas se seleccionan comparados con el más corto de los probables intervalos P-F. En la mayoría de los casos, es suficiente seleccionar intervalos de tareas iguales a la mitad el intervalo P-F.

Para que la tarea predictiva sea técnicamente viable, el intervalo P-F debe ser más largo que el periodo requerido para evitar o reducir las consecuencias del modo de falla. Si el intervalo P-F es demasiado corto como para hacer cualquier acción predictiva, entonces dicha tarea no es técnicamente viable.

4.5.1.1 Técnicas para realizar tareas predictivas

Existen cuatro categorías principales para realizar tareas predictivas:

- **Técnicas basadas en variaciones de calidad del producto.**

La aparición de defectos en los artículos producidos son, en la mayoría de casos, indicios de modos de fallo en la máquina. Muchos de estos defectos aparecen gradualmente, proporcionando evidencias oportunas de fallas potenciales.

- **Técnicas de monitoreo de efectos primarios.**

Los efectos primarios contemplan variables tales como, velocidad, caudal, presión, temperatura, potencia, corriente, etc. éstas son otra fuente de información acerca de la condición del equipo. Los efectos pueden ser monitoreados por personas, sistemas computarizados de control de procesos o registradores gráficos.

- **Técnicas basadas en los sentidos humanos.**

Sentido como visión, oído, tacto y olor.

- **Técnicas de monitoreo de condición.**

Involucran el uso de equipos especializados (integrado en el equipo a monitorear).

4.5.2 Tareas programadas de restauración y descarte

Tareas de restauración: implican tomar acciones periódicas para restaurar la capacidad de un activo, a un nivel que provea una probabilidad tolerable de supervivencia hasta el fin de otro intervalo específico. Esta acción usualmente implica o re-manufactura de un componente o reparación de un ensamble completo.

Tareas de descarte: implican eliminar un componente a un específico límite de edad, sin importar su condición en el tiempo. Esto se realiza cuando se reemplaza un componente viejo por uno nuevo que restaure la resistencia original a la falla.

De acuerdo a los patrones de falla de la figura 22, si el modo de falla conforma el patrón A o B, es posible identificar la edad a la cual el desgaste comienza, la tarea programada debe ser hecha a intervalos menores que esta edad.

Dos tipos de límites de vida aplican a estos tipos de tareas:

Límite de vida segura: Solo aplican a modos de falla con consecuencias en la seguridad o el ambiente. El límite de vida segura sirve para establecer el intervalo de tarea, generalmente se adopta que equivale a la tercera o cuarta parte de la vida útil.

Límite de vida económica: Basado en la relación edad-confiabilidad, muchos activos sirven hasta cierto punto de depreciación económica.

4.5.3 Tareas de búsqueda de fallas

El objetivo es determinar si un modo de falla oculto ha dejado una función del dispositivo de protección incapaz de proveer la seguridad necesaria. Esto es porque, pocas tareas proactivas satisfacen el criterio de que sean técnicamente viables cuando se aplica a fallas ocultas.

En algunos casos es imposible llevar a cabo este tipo de tareas, estos casos son:

- Cuando no sea tenga acceso al dispositivo de protección con el fin de verificar su funcionamiento (resultado de un mal diseño).
- Cuando la función del dispositivo no pueda ser verificada sin destruirlo (fusibles, discos de ruptura).

Los criterios de viabilidad técnica son:

- Los intervalos de tareas deben reducir la probabilidad de múltiples fallas del sistema protegido asociado a un nivel tolerable.
- La tarea debe confirmar que todos los dispositivos cubiertos por la descripción del modo de falla son funcionales.
- La tarea y el intervalo asociado deben tener en cuenta cualquier probabilidad de que la misma tarea pueda dejar funciones ocultas en estado de falla.
- Debe ser físicamente posible de realizar a los intervalos especificados.

4.5.4 Combinación de tareas

Cuando no se pueda establecer una tarea programada que reduzca el riesgo de falla a un nivel tolerable, es posible combinar tareas (usualmente tareas bajo condición con tareas de descarte), que puedan reducir el riesgo del modo de falla.

Cuando se consideren dichas combinaciones, se debe estar seguro de que cada tarea satisfará la condición de que sea técnicamente factible a la frecuencia apropiada. También, se debe procurar que las tareas seleccionadas reducirán las consecuencias a un nivel tolerable.

4.6 MANEJO DE FALLAS - CAMBIOS DE UNA VEZ Y LLEVADOS A LA FALLA – TAREAS NO PROGRAMADAS

4.6.1 Cambios de una vez

El término para esta política de manejo de fallas se refiere a esas intervenciones que son usualmente hechas una vez a algún sistema específico, opuesto a las tareas programadas que se desarrollan a intervalos regulares.

4.6.1.1 Cambios de una vez para modos con consecuencias en la seguridad y ambientales

Si hay un modo de falla enmarcado dentro de esta categoría y no se pueden encontrar tareas programadas o una combinación de tareas que reduzcan el nivel de riesgo, entonces algo debe ser cambiada. En estos casos, el rediseño se enfoca en dos objetivos:

- Reducir la probabilidad de un modo de falla imprevisto que ocurre a un nivel que es tolerable. Esto es usualmente hecho ya sea reemplazando el componente afectado por uno más fuerte o más confiable, o haciendo posible la anticipación del modo de falla.
- Cambiar el elemento o proceso de tal manera que el modo de falla no tenga más consecuencias en la seguridad o el ambiente. Esto se hace frecuentemente instalando un apropiado dispositivo de protección. Se debe recordar que si dicho dispositivo se agrega, sus requerimientos de mantenimiento deben ser también analizados.

4.6.1.2 Cambios de una vez para modos de falla ocultos

El riesgo de una falla múltiple se puede reducir tomando alguna de las siguientes acciones:

- Haciendo que la falla oculta, se convierta en evidente mediante la adición de otro dispositivo (Equipo de pruebas integrado - BITE). El objetivo de este dispositivo es llamar la atención del operario hacía la falla oculta.
- Sustituyendo un dispositivo o sistema cuya falla es evidente por una cuya falla no sea evidente.
- Sustituyendo un dispositivo más confiable (pero con falla oculta) por un dispositivo de protección existente.

- Duplicando las funciones ocultas, teniendo en cuenta que la función de los dispositivos agregados se deben someter al análisis RCM.
- Haciendo posible el desarrollo de tareas programadas (mejorando el acceso al dispositivo de protección).
- Reduciendo el nivel de exigencia de la función protegida. Dependiendo del modo de falla se podrá cambiar la configuración física del sistema, mejorar las habilidades del operario o mantenedor de tal manera que el sistema requiera la protección con menos frecuencia.

4.6.1.3 Cambios de una vez para modos con consecuencias operacionales y no operacionales.

En algunos casos la política de manejo de fallas más rentable puede ser la de cambiar el sistema o reducir el costo total. Para alcanzarlos, los cambios pueden tener por objetivos:

- Reducir el número de veces en que el modo de falla ocurre, o posiblemente eliminarlo totalmente, haciendo que el sistema sea más robusto o más confiable.
- Reducir o eliminar las consecuencias del modo de falla, por ejemplo, proporcionando capacidad de espera (stand-by).
- Hacer tareas programadas, por ejemplo, haciendo el componente más accesible.

Estas modificaciones deben ser rentables, mientras no haya otras maneras de reducir el riesgo de las fallas.

4.6.2 Llevados a la falla

En el caso de las fallas evidentes u ocultas y múltiples sin efectos adversos sobre la seguridad o el ambiente, la acción de mantenimiento más rentable puede ser

permitir que la falla ocurra y después realizar los pasos apropiados para repararla. Esta acción es válida solamente si:

- Una tarea programada apropiada no puede ser hallada para las fallas ocultas, y sus múltiples fallas asociadas no tengan consecuencias en la seguridad o el ambiente.
- Una tarea proactiva rentable no puede ser encontrada para fallas con consecuencias operacionales o no operacionales.

4.7 ENFOQUES

4.7.1 Enfoque riguroso

Es un enfoque más meticuloso y produce una optimización completa de los costos de mantenimiento.

Este enfoque se puede esquematizar en los siguientes pasos:

Tabla 7. Etapas de aplicación del enfoque riguroso.

	Modos de falla evidentes	Modos de falla ocultos
1	Establecer la probabilidad actual de que el modo de falla pueda afectar la integridad de alguien.	Establecer la probabilidad actual de que las múltiples fallas asociadas puedan afectar la integridad de alguien.
2	Establecer la probabilidad tolerable de que el modo de falla pueda afectar la integridad de alguien.	Establecer la probabilidad tolerable de que múltiples fallas puedan afectar la integridad de alguien.
3	Establecer la probabilidad actual de que el modo de falla pueda infringir una norma ambiental.	Establecer la probabilidad actual de que múltiples fallas puedan infringir una norma ambiental.
4	Establecer la probabilidad tolerable de que el modo de falla pueda violar la norma ambiental.	Establecer la probabilidad tolerable de que múltiples fallas puedan violar la norma ambiental.
5	Establecer las consecuencias totales operacionales y no operacionales del modo de falla.	Establecer las consecuencias totales operacionales y no operacionales del modo de falla y sus múltiples fallas asociadas.
6	En caso de que el modo de falla tenga consecuencias en el ambiente o en la seguridad y la probabilidad actual de ocurrencia sea mayor que la tolerable.	En caso de múltiples fallas que puedan tener consecuencias en la seguridad o el ambiente y la probabilidad actual de ocurrencia sea mayor que la tolerable.
7	Identificar todas las políticas de manejo de fallas que pueda reducir la probabilidad a un nivel tolerable.	Identificar todas las políticas de manejo de fallas que pueda reducir la probabilidad a un nivel tolerable.
8	Identificar todas las políticas de manejo de fallas que podrían tener menor costo que las consecuencias	Identificar todas las políticas de manejo de fallas que podrían tener menor costo que las

	económicas de los modos de falla cuando se midan sobre un apropiado periodo de tiempo.	consecuencias combinadas del modo de falla y las fallas múltiples cuando se mida sobre un apropiado periodo de tiempo.
9	Seleccionar la política de manejo de fallas que se ocupe de la forma más rentable de las consecuencias ambientales, de seguridad y económicas de los modos de falla.	Seleccionar la política de manejo de fallas que se ocupe de la forma más rentable de las consecuencias ambientales, de seguridad y económicas de lo modo de falla y las múltiples fallas.

Fuente: SAE JA 1012

4.7.2 Diagrama de decisión

Las decisiones tomadas bajo este enfoque dan prelación a las consecuencias de seguridad y ambientales antes que las consecuencias económicas. También, incorpora el supuesto de que algunas políticas de manejo de falla son más rentables que otras. Sin embargo, este enfoque introduce una sub optimización del proceso de manejo de fallas desde el punto de vista de los costos.

El enfoque de diagramas de decisión, jerarquiza las políticas de mantenimiento de la siguiente manera:

- **Modos de falla evidentes con efectos sobre el ambiente o la seguridad:** Tareas bajo condición, tareas programadas de restauración y descarte, tareas combinadas (usualmente bajo condición y descarte programado), cambios de una vez.
- **Modos de falla evidentes sin efectos sobre el ambiente o la seguridad:** Tareas bajo condición, tareas programadas de restauración y descarte, mantenimiento no programado, cambios de una vez.
- **Modos de falla ocultos cuyas fallas múltiples pueden afectar el ambiente o la seguridad:** Tareas bajo condición, tareas programadas de restauración y descarte, búsqueda de fallas, combinación de tareas (usualmente búsqueda de fallas y descarte programado), cambios de una vez.
- **Modos de falla ocultos cuyas fallas múltiples pueden afectar el ambiente o la seguridad:** tareas bajo condición, tareas programadas de restauración y

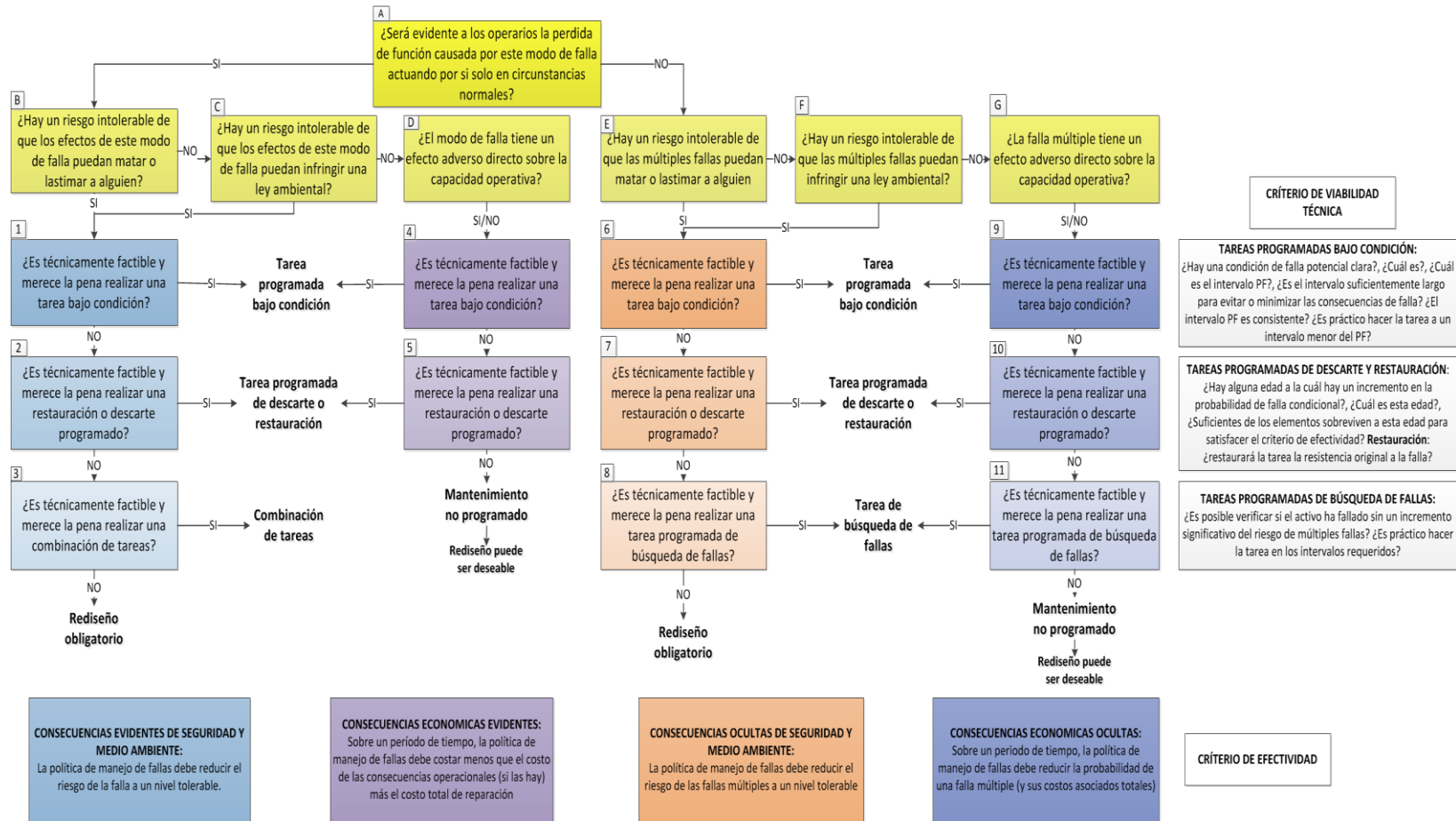
descarte, búsqueda de fallas, mantenimiento no programado, cambios de una vez.

4.7.2.1 Aplicación del diagrama de decisiones

El objetivo último del diagrama de decisiones es determinar la práctica de mantenimiento que sea más técnicamente factible en el contexto operacional dado. El punto de partida para ingresar en los cuadros de decisión son las consecuencias de fallas en la empresa. La metodología es la siguiente:

- Identificar si el modo de falla es evidente u oculto y elegir cual es la mejor tarea para tratar fallas de funciones ocultas.
- Analizar las fallas con consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.
- Analizar las fallas con consecuencias operacionales y no operacionales.

Figura 37. Diagrama de decisiones RCM



Fuente: SAE JA 1012, Los autores

4.7.3 Hoja de decisión RCM

Con el objetivo de organizar la información extraída del diagrama de decisiones, se deben registrar los datos en el siguiente cuadro, estableciendo el código de la falla, que tipo de consecuencia tiene, cual es la actividad de mantenimiento propuesta, frecuencia y quien la realizara.

Figura 38. Hoja de decisión RCM

													Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0					
													Hoja de información RCM			Hoja N°					
													Sistema		Código		Facilitador				
													Subsistema		Auditor		de				
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1		2		Acción a falta de		TAREA PROPUESTA		INTERVALO INICIAL		A REALIZARSE POR	
										4		5									
			EVIDENTES			OCULTAS				6		7		8							
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10	3	11								

Fuente: los autores

4.8 RELACIÓN ENTRE EL ANÁLISIS CAUSA-RAÍZ (RCA) Y EL ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)

Existen varias técnicas de resolución de problemas basadas en el principio de causa-efecto, estas técnicas no cambian de incidente a incidente, aplican a grandes y pequeños problemas y muchos de ellos se complementan entre sí. Algunos de estos métodos son:

RCM	6 SIGMA	KAIZEN	PARETO
RCA	TPM	FMEA	5 S
Gestión de calidad total	Manufactura esbelta	8 D	Mejora continua

El principio de causa y efecto intenta explicar todo lo que sucede en una organización, cosas buenas, malas, en el presente, pasado o futuro. Depende del enfoque que se le dé al análisis.

RCA: Es un método sistemático para la identificación de causas y el porqué de su ocurrencia, con el fin de prevenir que ocurra de nuevo. Se enfoca en lo que ocurrió en el pasado, y en base a esto se construye un mapa visual o mapa acumulativo.

FMEA: Es un método sistemático para la identificación y priorización de causas de como un problema puede ocurrir, con el fin de prevenir que ocurra. Se enfoca en lo que podría ocurrir en el futuro.

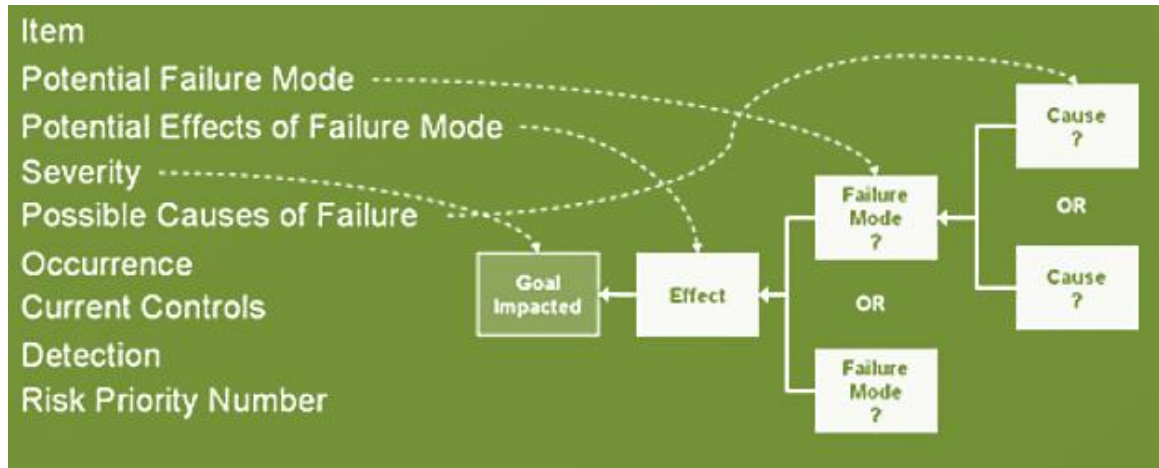
Tabla 8. Enfoques del RCA y FMEA

RCA	Pasado	¿Qué ocurrió?	“Reactivo”
FMEA	Futuro	¿Qué podría ocurrir?	“Proactivo”

Fuente: los autores

La recolección de modos de falla en un árbol acumulativo en el RCA concuerda con la lógica del FMEA, cuya forma de mostrarlos es de forma tabulada en filas y columnas. Ambos análisis están estrechamente enlazados y pueden ser un fuerte complemento en la búsqueda de modos y efectos de falla.

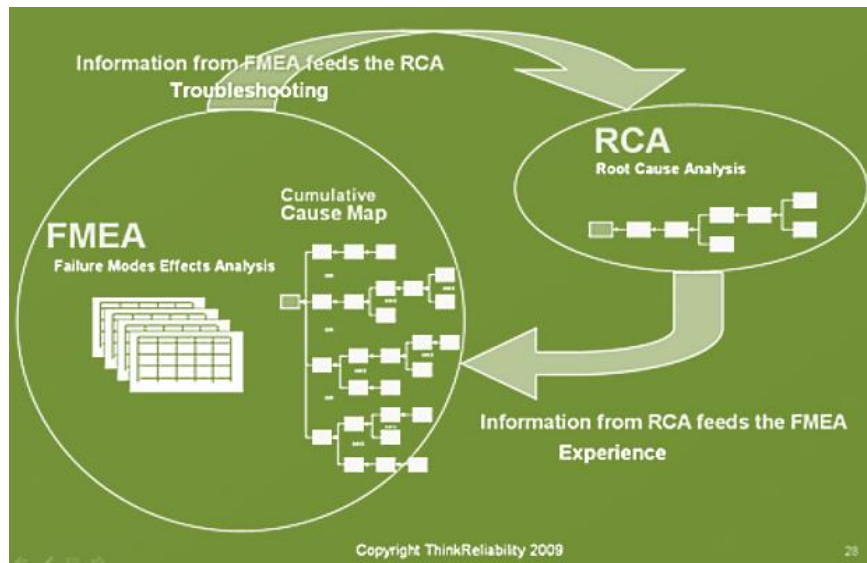
Figura 39. Relación entre el FMEA y el RCA.



Fuente: GALEY, Mark. *The important connection between RCA & FMEA* [en línea]. Think reliability. [Consultado: 22 Abril 2014]. Disponible en: <http://www.thinkreliability.com/video/2009-10-13-RCA-FMEA/2009-10-13-RCA-FMEA.html>

En resumen, el análisis RCA provee información al proceso FMEA basado en la experiencia de modos de falla ya ocurridos, se someten al análisis, y son retroalimentados RCA en forma de soluciones de problemas (troubleshooting).

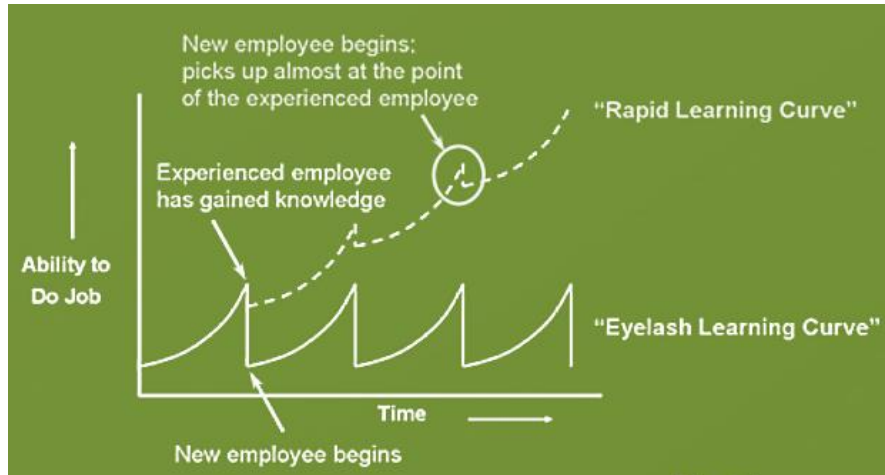
Figura 40. Retroalimentación entre los procesos RCA y FMEA



Fuente: GALEY, Mark. *The important connection between RCA & FMEA* [en línea]. Think reliability. [Consultado: 22 Abril 2014].

La información contenida en estos análisis es de especial interés cuando se tiene la necesidad de aumentar la confiabilidad humana, en el caso de personal nuevo.

Figura 41. Aumento de la confiabilidad humana con el tiempo



Fuente: GALEY, Mark. *The important connection between RCA & FMEA* [en línea]. Think reliability. [Consultado: 22 Abril 2014]. Disponible en: <http://www.thinkreliability.com/video/2009-10-13-RCA-FMEA/2009-10-13-RCA-FMEA.html>

En conclusión:

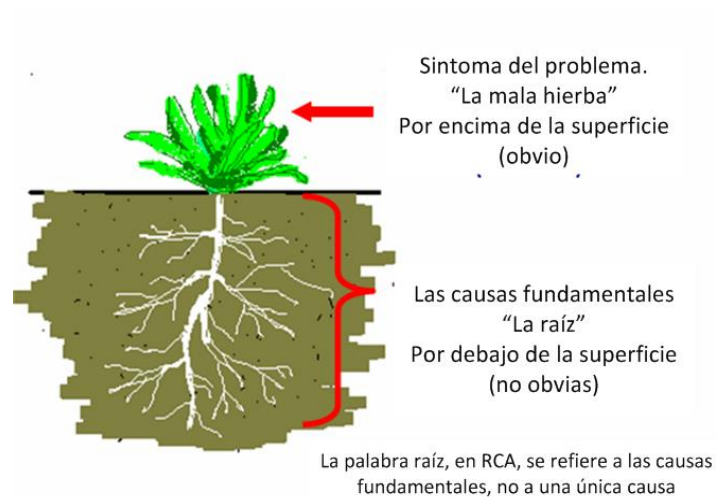
- RCA trata lo que ya ocurrió.
- FMEA trata lo que podría ocurrir.
- Ambas herramientas están basadas en el principio de causa-efecto.
- Ambas herramientas mejoran el proceso de trabajo.
- Los mapeos de información mejoran la comunicación.
- Los mapeos de información mejoran el historial de datos.

4.8.1 Análisis causa raíz

El análisis causa raíz es comúnmente asociado con el crecimiento de la mala hierba en los jardines, la hierba son las evidencias obvias de un problema, se

encuentran en la superficie y todos pues percibir sus efectos. Lo que no es obvio, se define como la raíz, estas son las que provocan el crecimiento de la falla.

Figura 42. Analogía del análisis causa-raíz



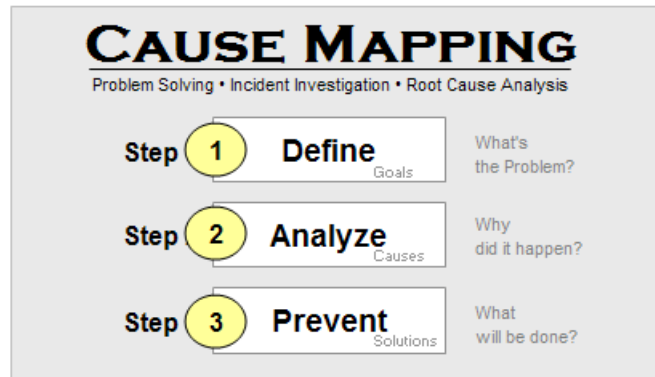
Fuente: GALEY, Mark. *The important connection between RCA & FMEA* [en línea]. Think reliability. [Consultado: 22 Abril 2014]. Disponible en: <http://www.thinkreliability.com/video/2009-10-13-RCA-FMEA/2009-10-13-RCA-FMEA.html>

4.8.2 Metodología RCA

Basado en el método de mapeo de causas, el RCA distingue tres etapas de desarrollo:

- **Definición:** se define cual es el problema, las metas impactadas.
- **Análisis:** se cuestiona por qué se podrían impactar dichas metas.
- **Prevención:** Se establecen las posibles soluciones a los problemas identificados.

Figura 43. Mapeo de causas para el RCA

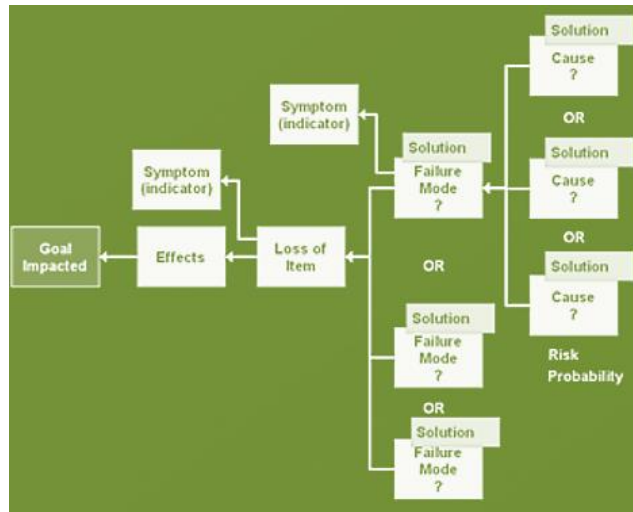


Fuente: GALEY, Mark. *The important connection between RCA & FMEA* [en línea]. Think reliability. [Consultado: 22 Abril 2014]. Disponible en: <http://www.thinkreliability.com/video/2009-10-13-RCA-FMEA/2009-10-13-RCA-FMEA.html>

Un mapa de causas es una explicación visual del porque ocurre un incidente. Conecta las relaciones individuales de causa y efecto para revelar el sistema de causas dentro de un tema. Un mapa de causas puede ser extremadamente detallado o sencillo y depende del problema a tratar.

Una vez se hayan identificado todos los modos de falla y efectos, se puede identificar más fácilmente las posibles soluciones así como los síntomas que llevan a identificar el fallo.

Figura 44. Modelo de RCA



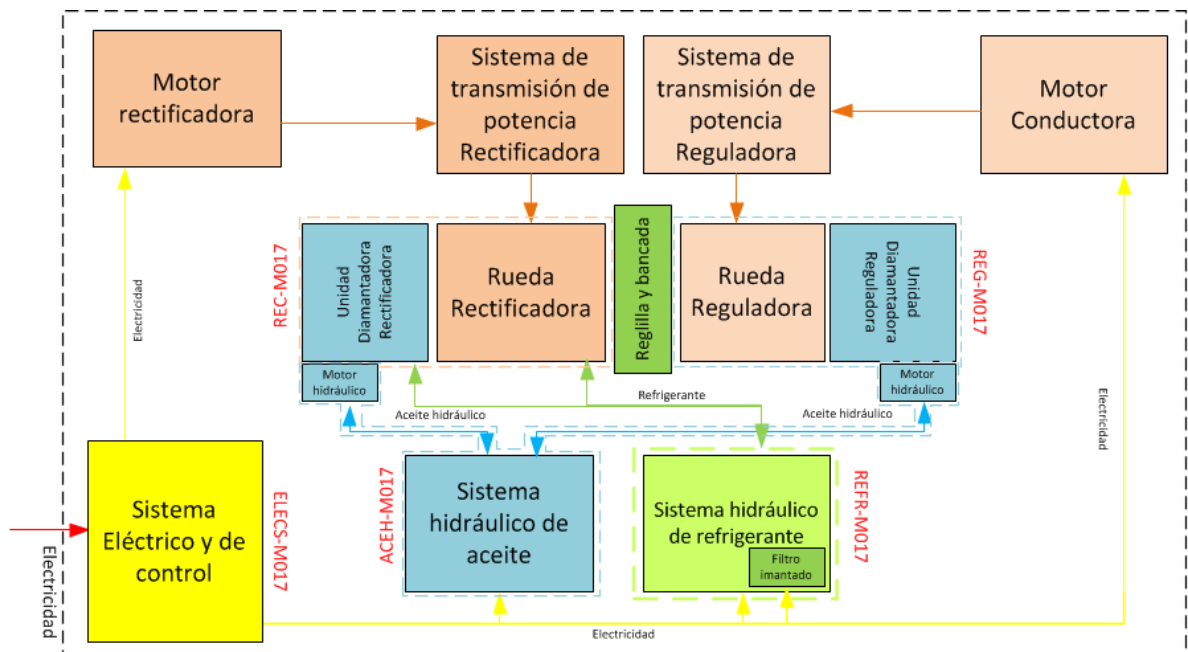
Fuente: GALEY, Mark. *The important connection between RCA & FMEA* [en línea]. Think reliability. [Consultado: 22 Abril 2014]. Disponible en: <http://www.thinkreliability.com/video/2009-10-13-RCA-FMEA/2009-10-13-RCA-FMEA.html>

5. APLICACIÓN DEL PROCESO RCM A LA RECTIFICADORA SIN CENTROS CINCINATTI M017.

5.1 LÍMITES Y JERARQUIAS DEL ACTIVO M017.

El activo M017 se ha dividido en subsistemas clasificados por colores. Las líneas de unión representan el flujo de trabajo correspondiente para cada unidad (electricidad, refrigerante o aceite hidráulico).

Figura 45. Límites del activo M017



Fuente: Los autores

Para facilitar la manipulación de datos en las secciones siguientes, se adopta un sistema de códigos mostrado a continuación:

Tabla 9. Codificación de los subsistemas del activo M017

Subsistemas	Código
Sistema mecánico de la piedra rectificadora	REC-M017
Sistema mecánico de la piedra reguladora	REG-M017
Sistema hidráulico de aceite	ACEH-M017
Sistema hidráulico de refrigerante	REFR-M017
Sistema eléctrico y de control	ELECS-M017
Otros sistemas adicionales (misceláneos)	OTRS-M017

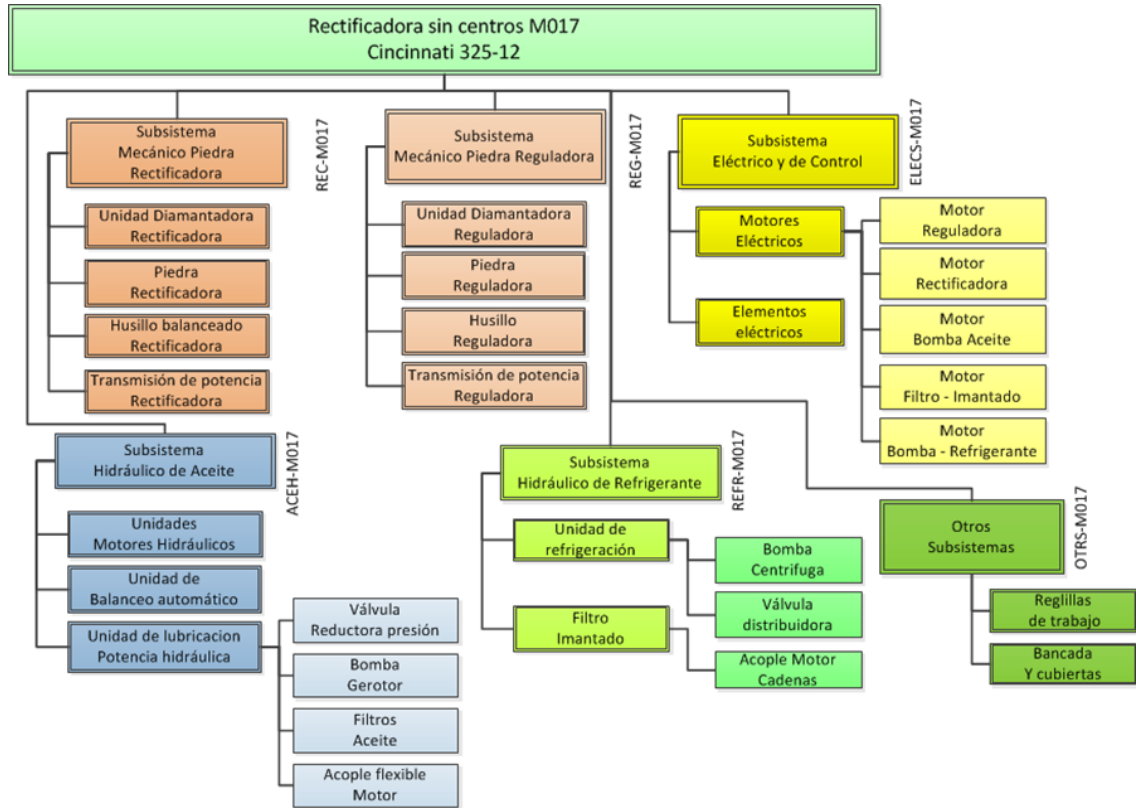
Fuente: Los autores

5.2 GRADO DE DETALLE Y ANÁLISIS

Cada subsistema está dividido por partes mantenibles. Según la norma ISO 14224³², una parte mantenible es el aparato que constituye una parte o ensamble de partes, que generalmente se encuentra en el nivel más inferior de la jerarquía durante el mantenimiento. El diagrama de jerarquía del equipo se muestra a continuación.

³² INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Industrias de petróleo y gas natural - recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos - ISO 14224*. Geneva, 2000.

Figura 46. Jerarquía de la rectificadora sin centros M017



Fuente: los autores

5.3 CONTEXTO OPERACIONAL DEL ACTIVO M017

5.3.1 Procesos del activo

El activo tiene una capacidad de trabajo para cilindros huecos, con las reglillas actuales de hasta 102 milímetros de diámetro y longitud determinada por el ancho de las piedras de máximo 304,8 milímetros.

El trabajo en la máquina se realiza por lotes, de acuerdo a la demanda estipulada por el departamento de producción. La jornada laboral de Lavco Ltda. es de Lunes a Sábado de 6:00 am a 2:30 pm, cuando se hace necesario el operario puede tomar horas extra o nocturnas.

5.3.2 Parámetros de calidad.

Se espera que los cilindros sean rectificadas sin superficies ovaladas, cónicas, cóncavas y convexas. Aunque, estos errores dependen de los procesos previos, las rectificadoras pueden contribuir a su mejoramiento.

Los parámetros de calidad se muestran a continuación.

Figura 47. Parámetros de calidad para las piezas de trabajo en las rectificadoras

TOLERANCIA DIMENSIONAL		TOLERANCIA GEOMETRICA	
MINIMO	MAXIMO	CIRCULARIDAD (OVALO)	CILINDRICIDAD (CONO)
NOMINAL - 0,025	NOMINAL + 0,025	Máx. 0,05 mm	Máx. 0,03 mm

Fuente: Departamento de producción Lavco Ltda.

Adicionalmente, se desea un acabado superficial opaco correspondiente a una rugosidad entre 1,6 μm (fino) y 3,2 μm (semi-fino). Por otra parte, se busca que durante el proceso la pieza no se golpee o raye.

Cabe resaltar que es deseado que la producción se entregue en el tiempo estipulado y en el orden de prioridad dado por el departamento de producción.

5.3.3 Parámetros de seguridad.

Ciertos riesgos que se han identificados se deben reducir al mínimo. Éstos son, físicos por accidentes con objetos móviles o quemaduras, químicos por manipulación de líquidos para la limpieza o vapor de refrigerante, ergonómicos por la postura adoptada en el lugar de trabajo y psicosociales por estrés laboral y cansancio.

5.4 CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS SUBSISTEMAS DEL ACTIVO M017

5.4.1 Contexto operacional del subsistema mecánico de la piedra rectificadora

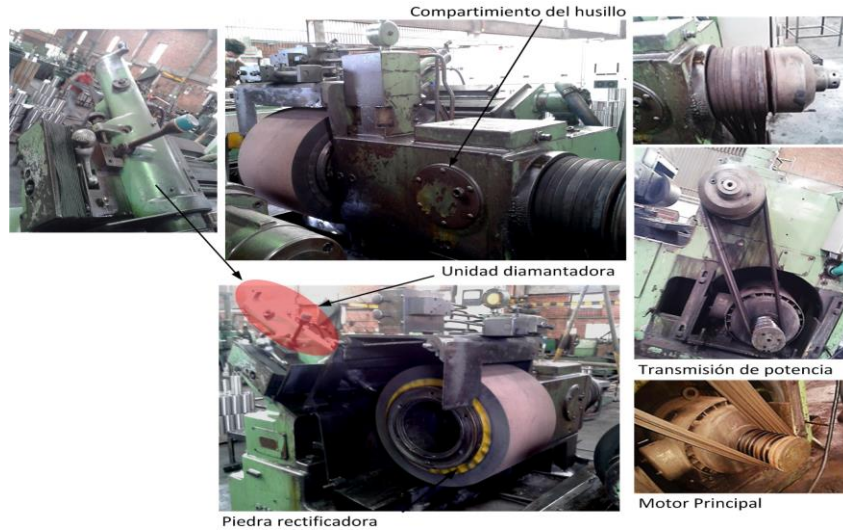
El objetivo principal de la piedra rectificadora es desbastar la superficie exterior de la pieza de trabajo para proporcionar la tolerancia diametral, la redondez y el acabado superficial requerido.

La tolerancia es especificada por el diseño de la pieza, la precisión depende de la capacidad de corte de la piedra, rugosidad de la misma y la habilidad del operario para realizar el procedimiento de ajuste de la máquina. Adicionalmente, se busca un acabado superficial opaco, sin rayaduras o golpes.

La redondez es un factor que depende de otros procesos. En la rectificadora sin centros, depende de la configuración de las piedras y la reglilla, la pieza de trabajo debe permanecer por encima de los ejes centrales de las piedras. Los errores más comunes son superficies ovaladas, cónicas, convexas y cóncavas.

La piedra rectificadora es movida por un motor eléctrico de 25 HP y 1455 RPM, acoplado a una transmisión de poleas y ocho correas. El husillo principal transmite la potencia a la montura a una velocidad de 1000 RPM.

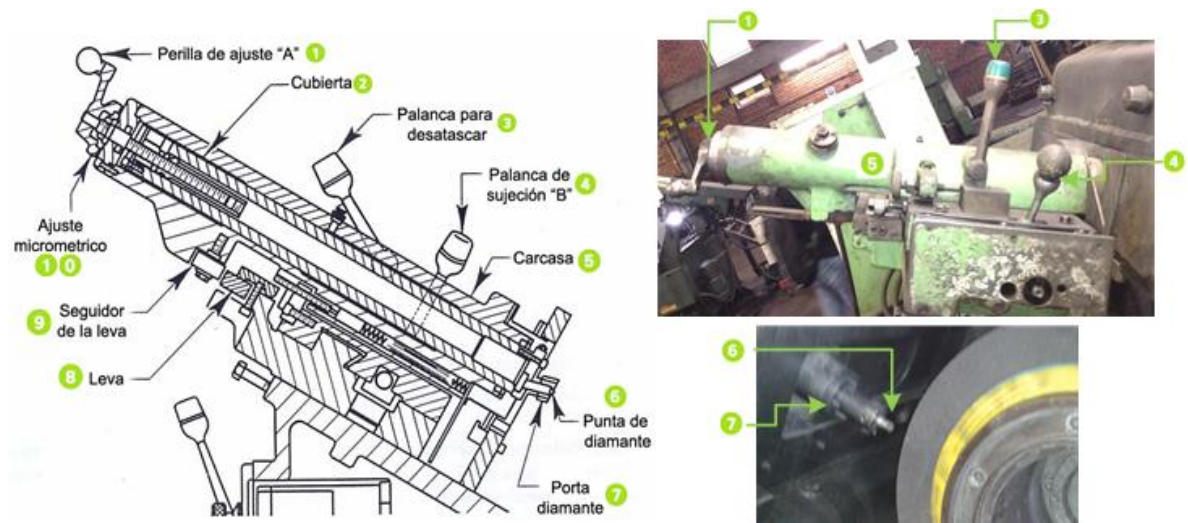
Figura 48. Subsistema mecánico de la piedra rectificadora del activo M017



Fuente: Los autores

Cuando la piedra rectificadora pierde su capacidad de corte, es necesario realizar un proceso llamado diamantado. Este proceso se lleva a cabo con la unidad rectificadora-diamantadora, un dispositivo de punta de diamante movido por un motor hidráulico el cual desbasta la superficie de la piedra para devolverle su rugosidad normal. (Procedimiento de manejo – Anexo A).

Figura 49. Unidad rectificadora-diamantadora de la piedra rectificadora M017



Fuente: los autores

Un parámetro importante para la piedra rectificadora es la alineación de la montura con respecto al husillo principal, se admite una tolerancia de desalineación de ± 10 mm como máximo. Por otra parte, el balanceo se realiza mediante un sistema hidráulico, con unas esferas metálicas, cuya reacomodación, producto de la acción centrífuga de la piedra, compensan el desbalanceo.

5.4.2 Contexto operacional del subsistema mecánico de la piedra reguladora

La piedra reguladora es la encargada de generar el movimiento rotatorio y transversal de la pieza de trabajo, su capacidad de corte es nula. Sin embargo, requiere cierta rugosidad para provocar fuerza de fricción.

Figura 50. Subsistema mecánico de la piedra reguladora.

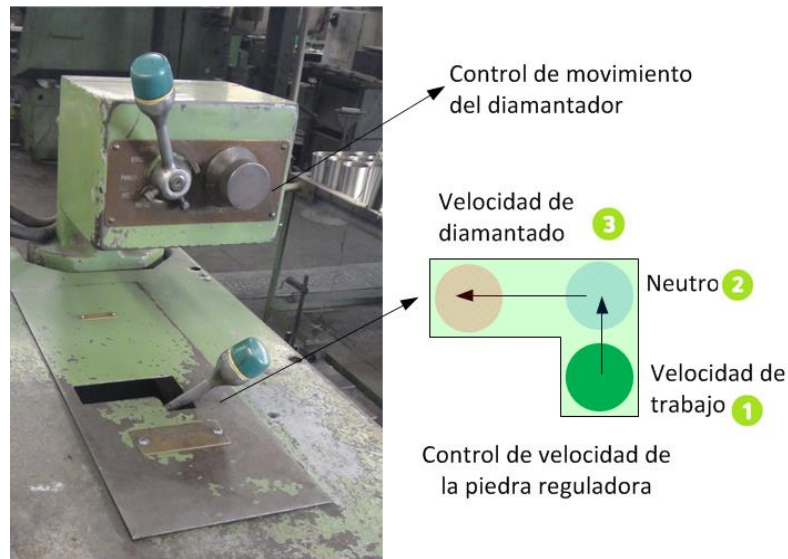


Fuente: los autores

La piedra es movida por un motor de 1,5 HP y 1420 RPM. Posee una palanca de mando que acciona una caja de velocidades, la posición LO permite una velocidad de 56 RPM y la posición HI permite una velocidad de 300 RPM, también posee la

posición de neutro N. La velocidad lenta, se utiliza para el trabajo normal y la rápida para el diamantado de la piedra.

Figura 51. Control de movimiento de la piedra reguladora



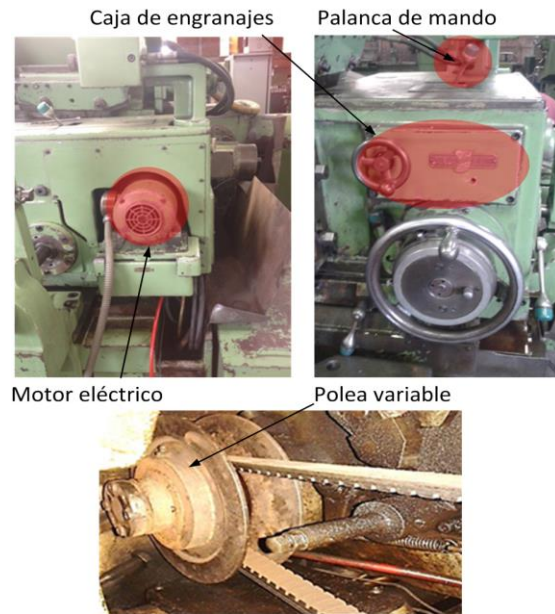
Fuente: los autores

Cabe resaltar que, originalmente el sistema de transmisión de potencia incorporaba una caja de engranajes más amplia y una polea de paso variable, las cuales permitían ajustar la velocidad en cualquier valor dentro de los rangos de 11 – 56 RPM y 56 – 300 RPM. Además, se podía observar la velocidad en un tacómetro ubicado en la parte frontal del activo.

Estos sistemas junto con la polea de paso variable, fueron puestos en una posición fija ya que presentaban fallas con demasiada frecuencia y no permitían el desarrollo normal de las actividades.

Actualmente el activo opera solamente a dos velocidades 56 RPM y 300 RPM. Cabe resaltar que, la capacidad de variación de la velocidad presentaba una ventaja para el operario, ya que podía determinar valores diferentes velocidad de alimentación de la pieza y optimizar de cierto el modo el trabajo. (Véase 3.1.3).

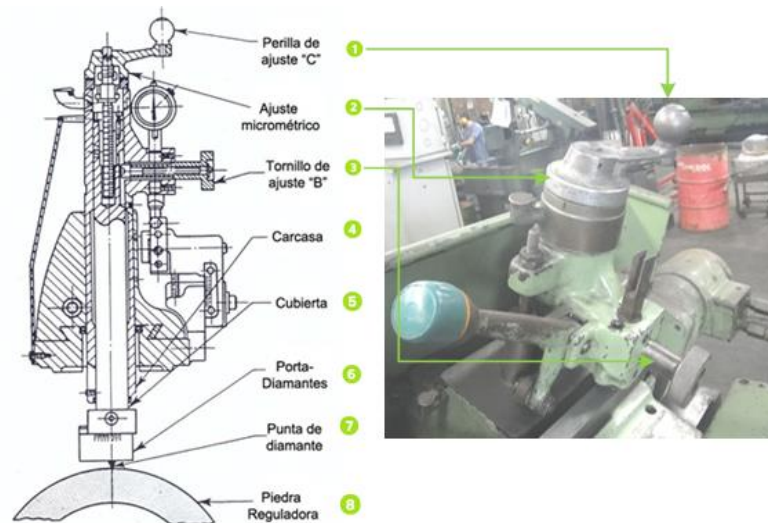
Figura 52. Transmisión de potencia de la piedra reguladora M017



Fuente: los autores

Al igual que en la piedra rectificadora, se requiere una unidad diamantadora para rectificar la superficie de la piedra a su rugosidad normal.

Figura 53. Unidad rectificadora-diamantadora de la piedra reguladora M017



Fuente: los autores

La montura de la piedra reguladora, se balancea y alinea manualmente, debido a su tamaño y baja velocidad, el grado de balanceo y alineación no es tan estricta.

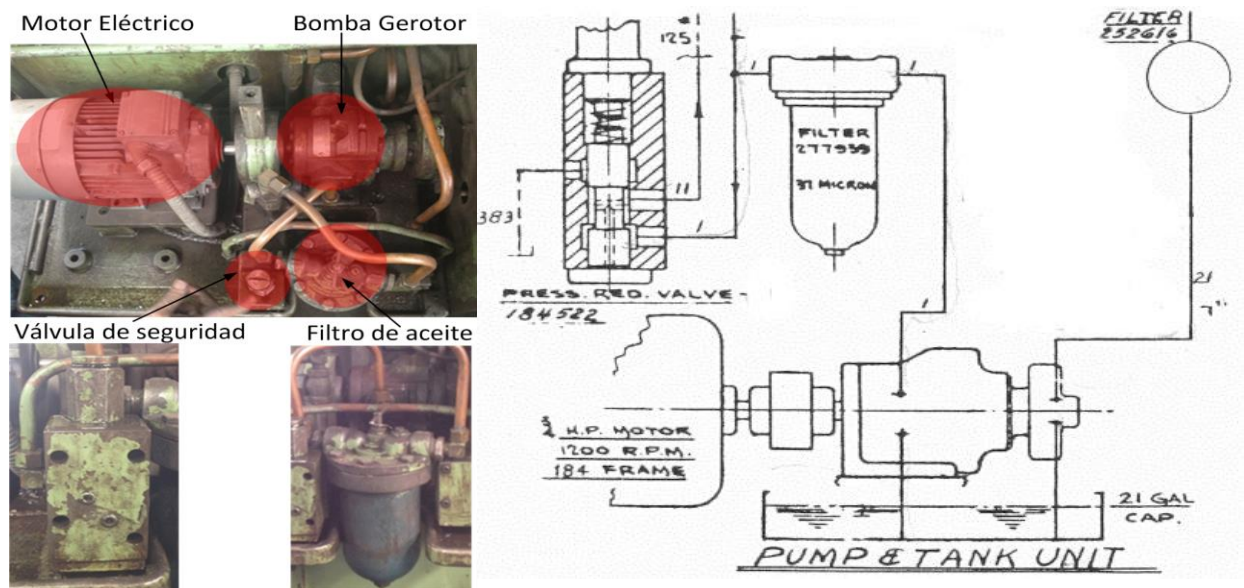
5.4.3 Contexto operacional del subsistema hidráulico de aceite

El subsistema hidráulico de aceite tiene tres objetivos fundamentales.

En primer lugar, éste debe mantener lubricados los husillos de ambas piedras desde el momento de la arrancada, para ello, la bomba debe impulsar aceite filtrado a 5 GPM y 1,2 kgf/cm² de presión. La líneas en derivación llevan de a 1 GPM hacía el husillo de la rectificadora y ¼ GPM al de la reguladora, el resto del caudal retorna por derivación al tanque, gracias a una válvula, y permanece disponible para los motores o el sistema de balanceo automático.

La arrancada del motor de la rectificadora se permite una vez se alcance la presión en los apoyos, una luz temporizada (3 minutos) da la señal para realizar el encendido. Sin embargo, esto no garantiza que la presión se alcance realmente.

Figura 54. Subsistema hidráulico de aceite.

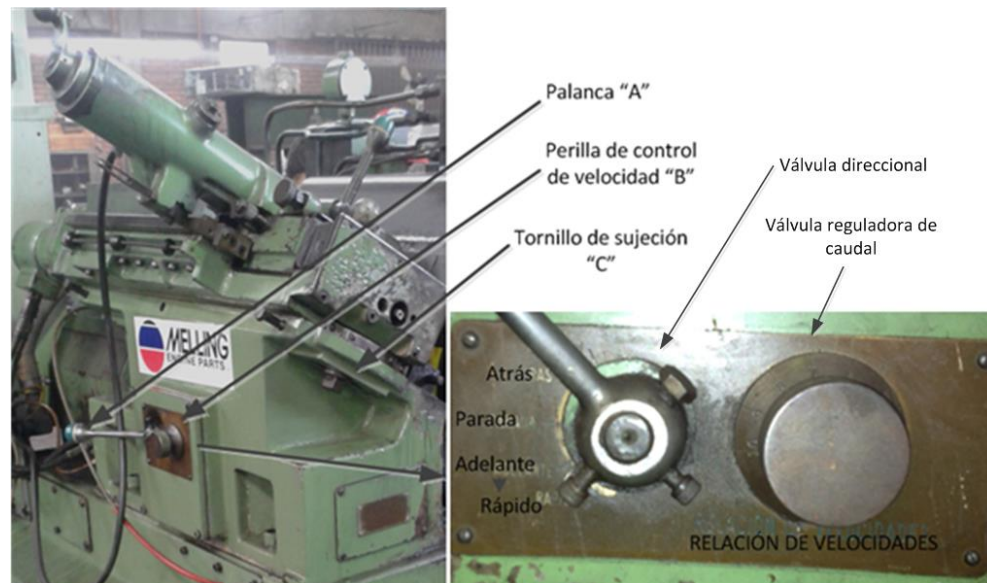


Fuente: Catálogo de partes Cincinnati serie 300, los autores

En segundo lugar, éste subsistema proporciona aceite a los motores hidráulicos que mueven las unidades diamantadoras de ambas piedras. El aceite proveniente de la unidad de potencia es controlado por una válvula direccional, una válvula de alivio y una reguladora de caudal.

En la figura a continuación, se muestran las partes del control del motor hidráulico. La palanca A, controla la válvula direccional de cinco posiciones, atrás, parada (neutro), adelante y dos marchas rápidas. La unidad diamantadora se puede parar en cualquier punto de la carrera. Por otro lado, la perilla B controla una válvula reguladora de caudal con la cual se puede incrementar o disminuir la velocidad del motor en el caso en el que el acabado superficial no sea satisfactorio.

Figura 55. Válvula direccional y reguladora de aceite M017



Fuente: los autores

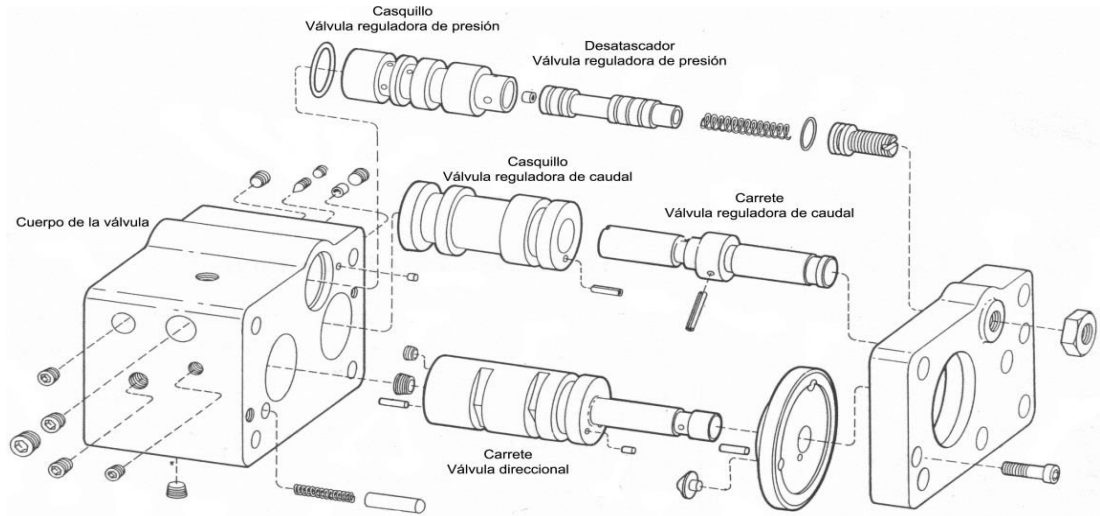
Actualmente, la válvula de control solo cumple la función de direccionamiento adelante, atrás, parada y una velocidad. La válvula reguladora de caudal se encuentra deshabilitada.

Esta situación influye enormemente en la eficiencia del trabajo, especialmente durante el procedimiento de diamantado. Además, en la calidad superficial de la

pedra. A velocidades lentas se obtienen acabados rugosos pero finos, en cambio, a velocidades lentas se obtienen superficies tocadas.

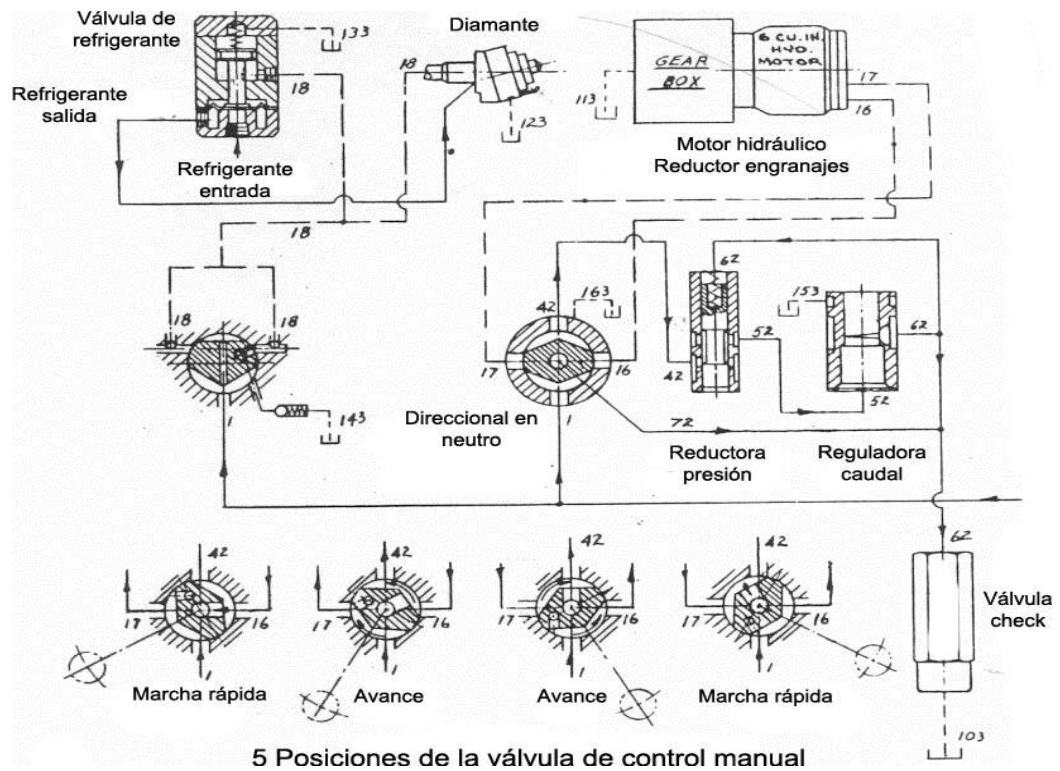
Las figuras a continuación muestran los circuitos hidráulicos y ensambles de las válvulas de control.

Figura 56. Válvula de control de los motores hidráulico M017



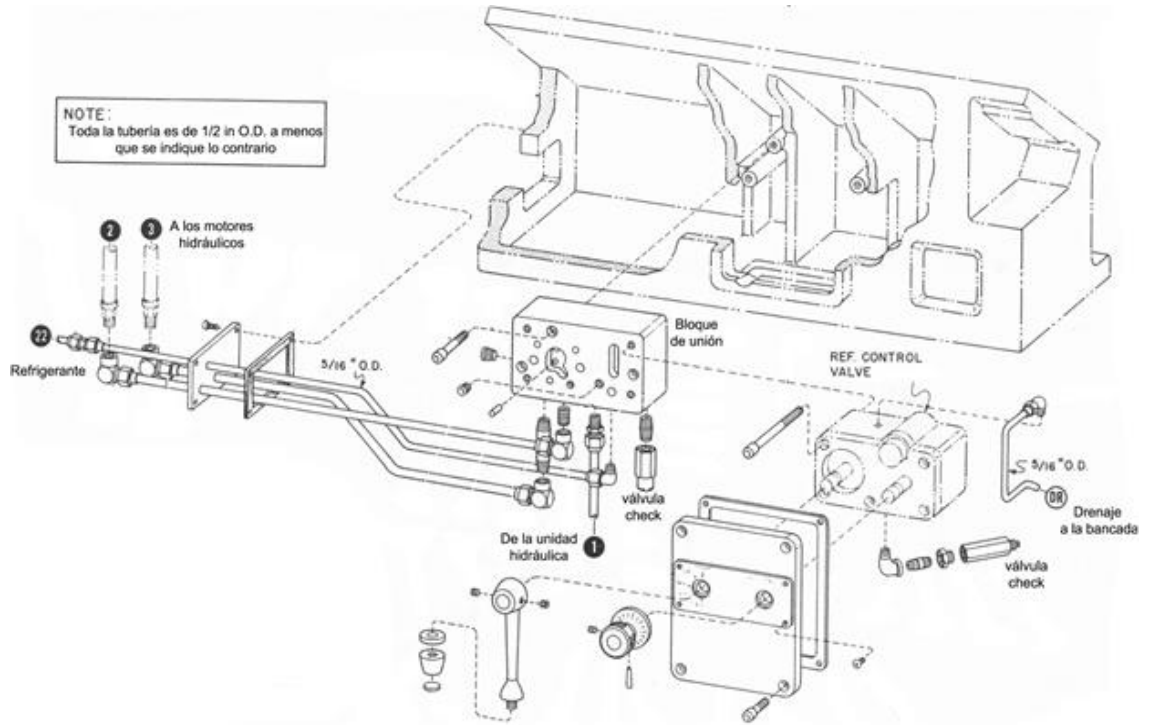
Fuente: Catálogo de partes Cincinnati serie 300

Figura 57. Circuito hidráulico de los motores hidráulicos M017

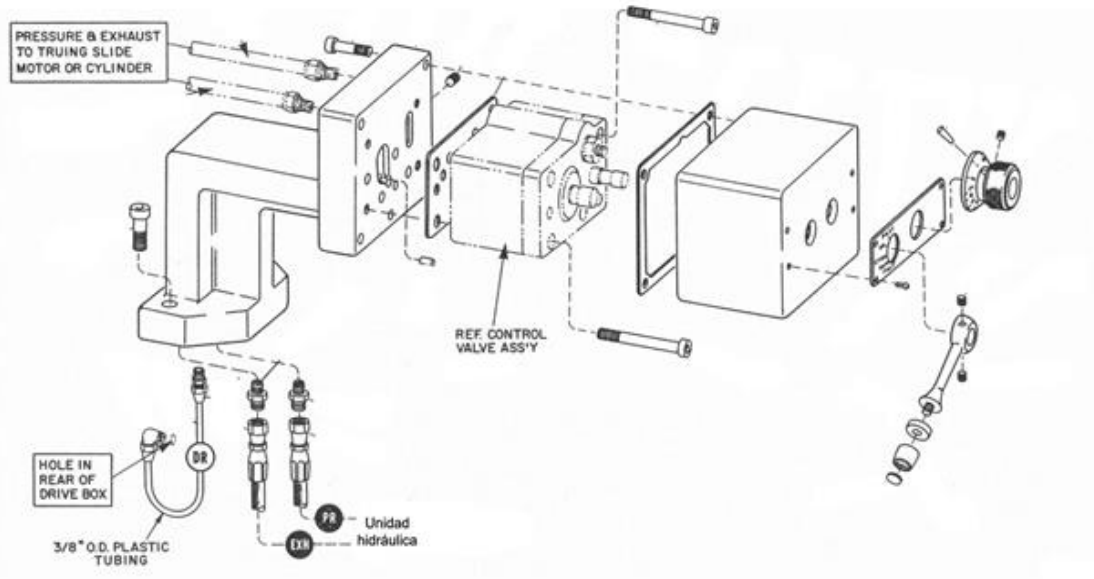


Fuente: Catálogo de partes Cincinnati serie 300

Figura 58. Montaje de las válvulas de control para ambas piedras



Montaje de la válvula de control – Piedra Rectificadora



Montaje de la válvula de control – Piedra reguladora

Fuente: Catálogo de partes Cincinnati serie 300

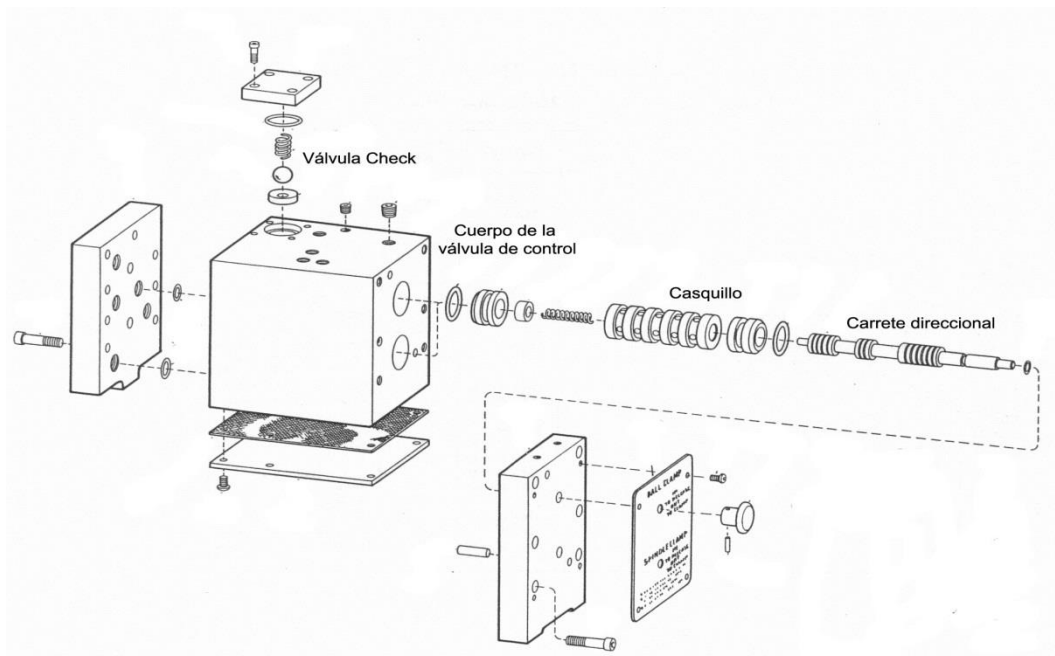
Por último, el circuito hidráulico alimenta el sistema para el balanceo automático, el cual consiste en un dispositivo en forma de plato que enclava y desenclava tres esferas metálicas, éstas bajo la acción del movimiento giratorio, se reacomodan compensando el desbalance.

Figura 59. Sistema de balanceo de la piedra rectificadora



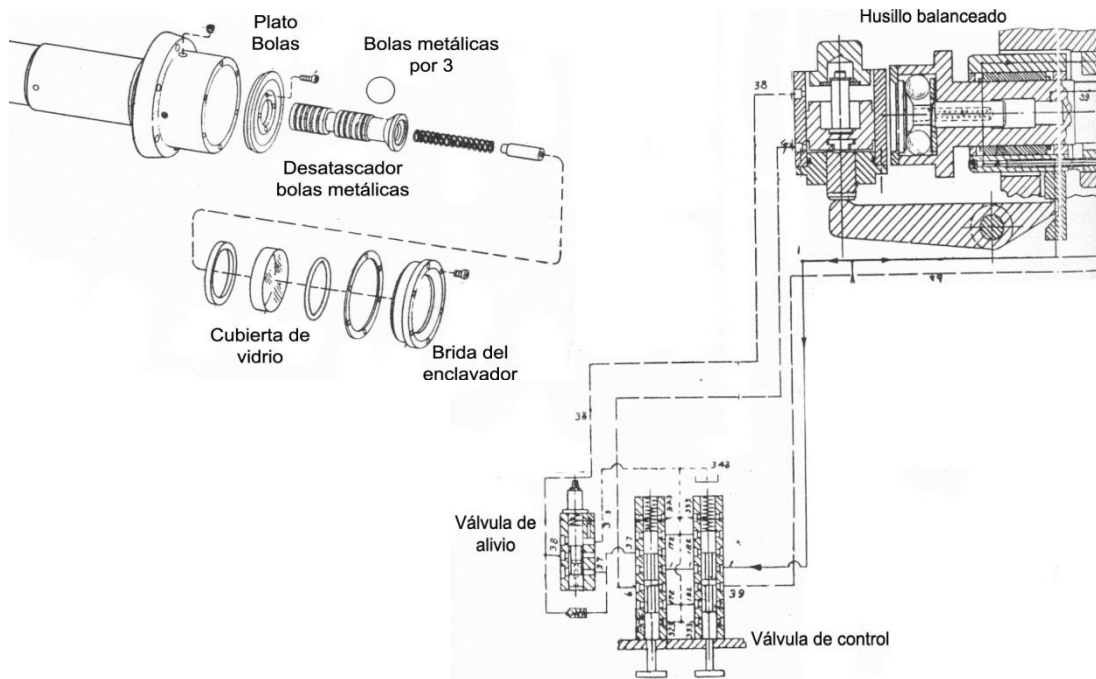
Fuente: los autores

Figura 60. Ensamble de la válvula de control del sistema de balanceo



Fuente: Catálogo de partes Cincinnati serie 300

Figura 61. Husillo balanceado y circuito hidráulico del sistema de balanceo



Fuente: Catálogo de partes Cincinnati serie 300

5.4.4 Contexto operacional del sistema de refrigeración

Los objetivos de este subsistema, son proporcionar un flujo constante de 30 LPM para mantener regulada la temperatura de la pieza de trabajo, limpiar la viruta removida y filtrar el refrigerante de retorno al tanque.

El subsistema está compuesto por un tanque de 75 GAL, una bomba centrífuga sumergible, accesorios hidráulicos y el filtro imantado para la limpieza del refrigerante.

La máquina ha presentado incrustaciones y sedimentos, en la bancada, husillo y reglilla, producto del mecanismo deficiente de filtrado combinado con el calor producido por la fricción de las piedras y el material. Este fenómeno acarrea consecuencias operativas y de mantenimiento, ya que las labores se dificultan al tener que remover los sedimentos, en las partes internas de la máquina es posible que los sedimentos permanezcan y se acumulen gradualmente.

Figura 62. Componentes del subsistema hidráulico de refrigerante



Fuente: los autores

5.4.5 Contexto operacional del sistema eléctrico y de control

El sistema eléctrico está compuesto por 5 motores eléctricos que corresponden a los de las piedras rectificadora, reguladora, bomba de aceite, bomba de refrigerante y filtro imantado, los parámetros de funcionamiento para cada motor son la velocidad y potencia especificada.

Tabla 10. Características técnicas de los motores M017

Motor	Características
Piedra rectificadora	18.5 kW / 220 V / 1455 RPM
Piedra reguladora	1.1 kW / 220 V / 1420 RPM
Bomba aceite	2.3 kW / 220 V / 1726 RPM
Bomba refrigerante	0.35 kW / 220 V / 2820 RPM
Filtro-imantado	0.5 kW / 220 V / 1750 RPM

Fuente: Los autores

Cada motor tiene sus elementos de protección eléctrica y de control (interruptores, fusibles, contactores, relés térmicos y pulsadores) y son independientes entre sí. Sin embargo, el arranque de la piedra rectificadora se realiza tras haberse encendido la bomba hidráulica y una vez que un temporizador haya emitido una señal a los tres minutos. Esto se realiza para asegurar que la presión en la cámara de los husillo alcance la de trabajo.

El motor de la rectificadora arranca mediante una conexión estrella-delta, también temporizada en aproximadamente 10 segundos.

5.4.6 Otros subsistemas: Reglillas de trabajo.

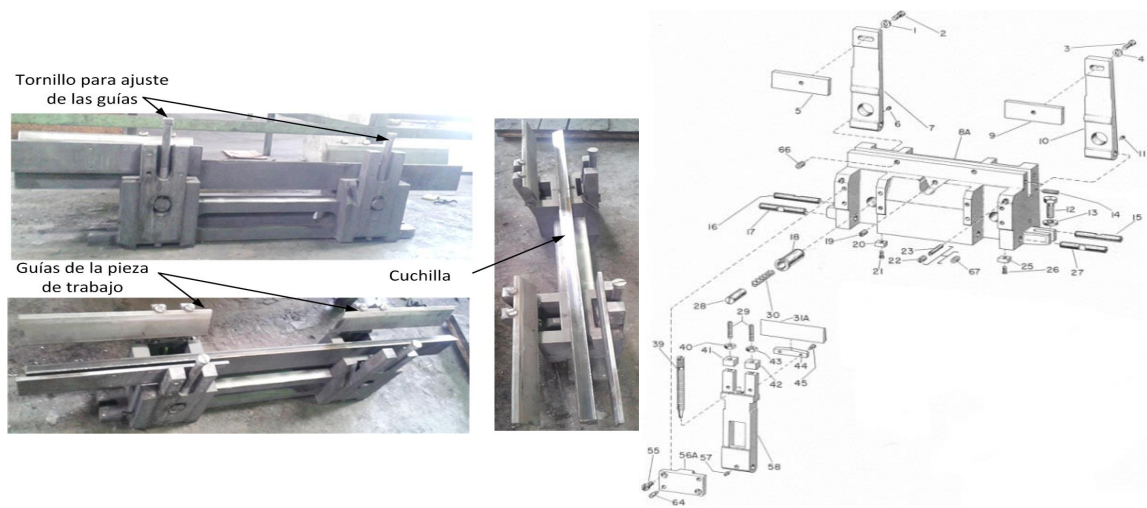
Las reglillas son una parte importante en el trabajo del activo, se cuentan con dos tipos, una para trabajar cilindros lisos y otra para cilindros con ceja.

Las funciones de la reglilla son las de sostener la pieza de trabajo sobre su propio diámetro exterior y dirigir la pieza de trabajo contra la piedra reguladora por medio de una inclinación en la cuchilla. Esta inclinación hace que el contacto con la piedra rectificadora sea superficial.

La reglilla para cilindros lisos permite a la pieza de trabajo desplazarse a través de la máquina mientras es rectificada. Por otro lado, la reglilla para cilindros con ceja posee un tope que mantiene la pieza de trabajo en una misma posición, esto se hace para proteger la ceja.

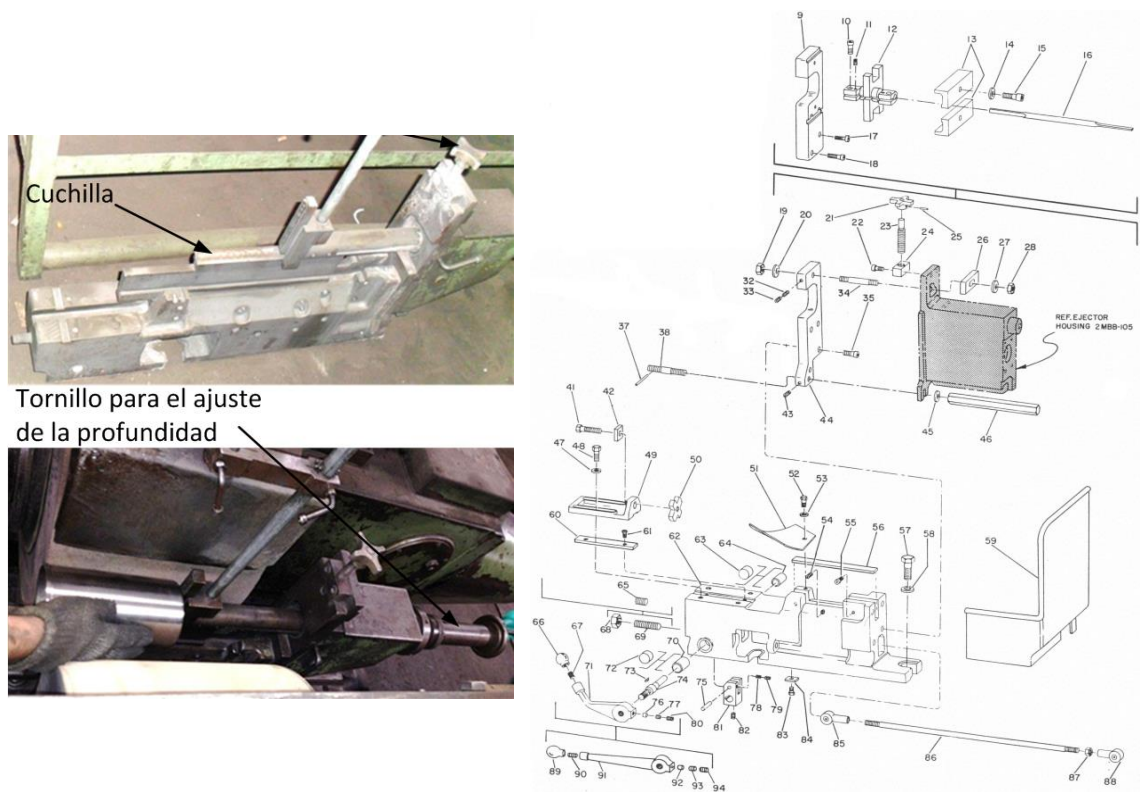
La posición de la reglilla y la alineación de los ejes de las piedras, juegan un papel muy importante en la corrección de errores por redondeo. La reglilla debe mantener la pieza de trabajo por encima de los ejes de las piedras.

Figura 63. Reglilla para rectificado al través



Fuente: Los autores


Figura 64. Reglilla para rectificado con avance restringido para piezas uniformes (Infeed)





Fuente: Los autores


5.5 HOJA DE INFORMACIÓN: MÁQUINA RECTIFICADORA SIN CENTROS M017.


En las tablas a continuación, se muestra un ejemplo de la piedra rectificadora, los demás se encuentran en el anexo B.

		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M017		REC-M017	David Parra	1
		Subsistema			Auditor	de
		Piedra Rectificadora			Angélica Laiton	5
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Rectificar la superficie de la pieza de trabajo a la tolerancia Diámetro $\pm 0,025$ mm, con acabado superficial opaco, rugosidad no mayor de 3,2 μ m.	A	No rectifica la superficie de la pieza	1	Diámetro de la piedra rectificadora desgastada por debajo del límite admisible	Si el diámetro de la pieza se desgasta por debajo de su límite mínimo, la pieza no tendrá contacto con la piedra, el ajuste del avance de la bancada superior no alcanza a acercar la pieza por lo tanto no se puede llevar a cabo la rectificación.
				2	Piedra rectificadora sin capacidad de corte por desgaste de la superficie	Si la piedra de trabajo se utiliza tanto, su rugosidad se pierde gradualmente hasta quedar completamente lisa, esto ocasiona que el operario deba disponer de muchas más pasadas para lograr la rectificación hasta el punto en que no se puede rectificar.
				3	Piedra rectificadora sin capacidad de corte por entrapamiento de suciedad	Es posible que el refrigerante contenga demasiado aceite diluido y particulado inmerso como viruta y el mismo polvo desprendido de la piedra, esto ocasiona un taponamiento en los poros de la piedra que terminan por alisar la superficie haciendo que la acción de rectificado no se lleve a cabo.
		B	No rectifica la superficie de la pieza dentro de la tolerancia $\pm 0,025$ mm	1	Exceso de rectificado en la pieza ($D < D_{Nom} - 0,025$ mm) Carencia de rectificado en la pieza ($D > D_{Nom} + 0,025$ mm)	Cuando la pieza pasa demasiadas/pocas veces sin una verificación frecuente de la medida, puede hacer que la tolerancia buscada sobrepase/le falte para el parámetro de calidad, dejando la pieza por fuera del límite.
				2	Relojes comparadores mal calibrados	Si los relojes comparadores no están calibrados adecuadamente las medidas tomadas diferirán de la realidad haciendo que las piezas queden por fuera del límite.

		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código		Facilitador
		Rectificadora sin centros M017		REC-M017		David Parra
		Subsistema			Auditor	
		Piedra Rectificadora			Angélica Laiton	
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Rectificar la superficie de la pieza de trabajo a la tolerancia Diámetro $\pm 0,025$ mm, con acabado superficial opaco, rugosidad no mayor de 3,2 μm (continuación).	B	No rectifica la superficie de la pieza dentro de la tolerancia $\pm 0,025$ mm (Continuación).	3	Procedimiento de patronado realizado incorrectamente	Si los relojes comparadores se ajustan mal, debido a un procedimiento de patronado incorrecto, las medidas de las piezas diferirán de la realidad haciendo que queden por fuera del límite.
		C	No rectifica la pieza con acabado superficial opaco	1	Pieza de trabajo brillante por entrapamiento de la piedra rectificadora	Cuando la piedra rectificadora queda atrapada por acción de la suciedad y el exceso de aceite soluble en el refrigerante, su superficie se vuelve lisa haciendo que las piezas queden pulidas y con una superficie brillante. Como consecuencia no se obtiene la opacidad deseada.
		D	Rectifica con rugosidad mayor de 3,2 μm	1	Rugosidad de la piedra demasiado alta por efecto de una alta velocidad de diamantado	Una velocidad de diamantado alta, proporciona a la piedra un acabado brusco lo que se traduce en alta rugosidad en la pieza de trabajo.
				2	Piedra rectificadora de mala calidad	La calidad de la piedra influye bastante en la capacidad de corte, si por ejemplo, el aglomerado de las partículas se desprenden muy fácilmente, hará que rápidamente la piedra pierda capacidad de corte, dificultando el proceso de rectificado.
2	Girar la piedra rectificadora a una velocidad no menor de 1000 RPM	A	No gira la piedra rectificadora	1	Correas de la transmisión rotas por desgaste	Si las correas se encuentran rotas, no abra conexión entre el husillo y el eje de la piedra haciendo que la piedra no pueda girar.
				2	Rodamientos del husillo dañados por desgaste	Un rodamiento dañado hará que el husillo no pueda girar ya que no tendrá en donde apoyarse, por lo tanto la piedra tampoco podrá girar.

		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M017		REC-M017	David Parra	3
		Subsistema			Auditor	de
		Piedra Rectificadora			Angélica Laiton	5
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
2	Girar la piedra rectificadora a una velocidad no menor de 1000 RPM (continuación)	A	No gira la piedra rectificadora (continuación)	3	Características geométricas de la piedra nueva no le permiten al motor vencer la inercia	Cuando la piedra rectificadora es demasiado pesada (nueva), el motor requerirá mucha potencia para vencer la inercia, si esto ocurre la piedra no girará
		B	Gira a una velocidad menor de 1000 RPM	1	Perdida de potencia en los apoyos y la transmisión producto de la fricción	La potencia se puede ver afectada si la transmisión falla y si los apoyos del husillo fallan. La transmisión puede fallar si las correas se desgastan o rompen. Los apoyos pueden fallar si carecen de lubricación o están desgastados por uso.
3	Alinear la piedra rectificadora en un nivel de ± 10 mm	A	La piedra no se mantiene alineada	1	Fuerza de ajuste en los pernos de la brida insuficiente	Si no se aplica el suficiente torque en los tornillos de la brida que sostienen la piedra, la acción de rotación y la vibración del husillo harán que estos se aflojen desalineando la piedra.
				2	Deterioro en los pernos de la brida por corrosión	El contacto con el refrigerante o la incrustación de sedimentos en los orificios de la brida pueden causar una oxidación en los pernos que con el tiempo perderán su capacidad de presión y por tanto capacidad para mantener la piedra alineada.
		B	La piedra no se alinea dentro del rango ± 10 mm	1	Error en la calibración en el comparador de carátula	El comparador de carátula puede estar descalibrado lo cual ocasiona errores en la medida de desalineación.
				2	Error en la medición de la alineación durante el montaje de la piedra	La accesibilidad, poca luz, desgaste de la carátula del comparador pueden ocasionar que la medida tomada difiera de la realidad ocasionando una alineación errónea por fuera del límite admisible.
4	Mantener la piedra rectificadora balanceada	A	La piedra no se mantiene balanceada	1	Desbalanceo de carga generada por humedad acumulada en el aglomerado de la piedra	Si se deja detenida la piedra y el sistema de refrigerante funcionando, la humedad del líquido penetrará los poros de la piedra ocasionada que la masa se descompense produciendo un desbalanceo.

		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código		Facilitador
		Rectificadora sin centros M017		REC-M017		David Parra
		Subsistema			Auditor	
		Piedra Rectificadora			Angélica Laiton	
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
4	Mantener la piedra rectificadora balanceada (continuación)	A	La piedra no se mantiene balanceada (continuación)	2	Desbalanceo de carga generada por suciedad acumulada en el montura de la piedra	La suciedad impregnada en el husillo, la piedra o el eje producto de los sedimentos que lleva consigo el refrigerante ocasionan cargas másicas que no permiten a la piedra mantenerse balanceada.
				3	Balanceo durante el montaje incorrecto por atascamiento del sistema hidráulico de balanceo automático	El sistema hidráulico que incorpora un pistón que aprisiona unas bolas metálicas puede llegar a quedar atascado producto de suciedad incrustada haciendo que el balanceo no se realice correctamente.
5	Rectificar la piedra rectificadora para producir una rugosidad uniforme sobre la superficie.	A	No rectifica la superficie de la piedra rectificadora	1	Herramienta de corte (diamantador) desgastada totalmente por el uso	El desgaste total de la herramienta de corte (diamantador), impide el rectificado de la piedra, hasta devolver su capacidad de corte.
				2	Dispositivo diamantador atascado por efecto de la suciedad en el sistema mecánico de desplazamiento.	El efecto combinado de la presión ejercida por el motor hidráulico sobre la suciedad acumulada en las guías del carro y el tornillo de desplazamiento del diamantador, ocasiona aglomeración excesiva de partículas provocando el atascamiento del carro e impidiendo que la superficie de la piedra no se rectifique.
				3	Obstrucción en el eje de profundidad de corte impidiendo el acercamiento de la punta de diamante	El dispositivo diamantador requiere lubricación y admisión de refrigerante, esto introduce suciedad al sistema impregnando de sedimentos y obstruyendo las partes móviles. Si la punta no se puede acercar, no se llevara a cabo la rectificación de la piedra.

		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M017		REC-M017	David Parra	5
		Subsistema			Auditor	de
		Piedra Rectificadora			Angélica Laiton	5
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
5	Rectificar la piedra rectificadora para producir una rugosidad uniforme sobre la superficie (continuación).	A	No rectifica la superficie de la piedra rectificadora (continuación)	4	Atascamiento en la reducción de engranajes del motor hidráulico.	La falta de lubricación en los engranajes y apoyos de la reducción provocarían demasiada fricción en el movimiento del carro diamantador y por tanto no se llevaría a cabo la rectificación de la piedra.
		B	No produce una rugosidad uniforme sobre la piedra	1	Exceso de profundidad de corte de la punta de diamante	Demasiada profundidad de corte ocasiona que la piedra quede tosca y con baches en la superficie, haciendo que la rugosidad no sea uniforme.
				2	Avance de corte de la unidad diamantadora incorrecto	El avance de corte influye en la rugosidad de la piedra, una velocidad alta produce superficies ásperas y una velocidad baja produce superficies finas, el no poder regular esta velocidad produce superficies en la piedra no uniformes.


5.6 HOJA DE DECISIÓN: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO MÁQUINA RECTIFICADORA SIN CENTROS M017.


Las tablas a continuación, muestran un diagrama de decisiones para el subsistema eléctrico y de control, los demás se pueden encontrar en el anexo C.


Las consecuencias contempladas son:


- Fallas ocultas o evidentes
- Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.
- Consecuencias operacionales.
- Consecuencias no operacionales.


Al clasificar las consecuencias, se utiliza el diagrama de decisión para establecer qué tipo de tarea se va a realizar.

													Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0		
													Hoja de información RCM						
			Sistema						Código	Facilitador	Hoja N°								
			Rectificadora sin centros M017						M017	David Parra	1								
			Subsistema						Auditor		de								
			Eléctricos y de control						Angélica Laiton		5								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR			
										4	5								
			EVIDENTES				OCULT			6	7	3	8						
			F	FF	MF	A	B	C	D	E	F		G						9
1	A	1	S	N	N	S					N	S			Tarea programada de restauración: Realizar una inspección de conductividad entre los bornes del interruptor y de ajuste de los mismos, limpiar polvo y realizar prueba de funcionamiento. A presencia de anomalía reemplazar el elemento.	4 meses			Técnico electricista
		2	N				N	N	S	N	S				Tarea programada de restauración: Realizar una inspección de conductividad entre los bornes del contactor y de ajuste de los mismos, limpiar polvo y realizar prueba de movilidad de los elementos. A presencia de anomalía reemplazar el elemento.	4 meses			Técnico electricista
		3	N				S			N	S				Tarea programada de restauración: Ajustar las conexiones del relé, limpiar polvo	4 meses	Técnico electricista		
		4	N				S			N	S				Tarea programa de restauración: verificar el ajuste de las tapas de los motores, realizar la lubricación de los rodamientos, limpiar externamente.	6 meses	Técnico electricista y auxiliar		

													Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0		
													Hoja de información RCM						
													Sistema				Código	Facilitador	Hoja N°
													Rectificadora sin centros M017				M017	David Parra	2
													Subsistema				Auditor		de
													Eléctricos y de control				Angélica Laiton		5
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR			
										4	5								
F			EVIDENTES			OCULT				6	7	3	8						
			A	B	C	D	E	F	G	9	10		11						
MF	FF																		
		5	N					N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: verificar los bornes del motor que estén libres de corrosión y suciedad, realizar respectivos ajustes.	6 meses			Técnico electricista y auxiliar
		6	N					S			N	S			Tarea programada de restauración: verificar el estado de los devanados del motor restaurando su aislamiento.	2 años	Técnico electricista y auxiliar		
		7	N					S			N	S			Tarea programada de restauración: verificar el estado de las líneas de conexión, comprobar el estado de los aislamientos y la continuidad del conductor.	4 meses	Técnico electricista		
	B	1	N					N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Limpiar los rodamientos de los motores y posteriormente lubricar utilizando la cantidad y tipo de grasa correcta.	6 meses	Técnico electricista y auxiliar		

													Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0					
													Hoja de información RCM								
													Sistema			Código	Facilitador	Hoja N°			
													Rectificadora sin centros M017			M017	David Parra	3			
													Subsistema			Auditor		de			
													Eléctricos y de control			Angélica Laiton		5			
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA			INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR			
										4	5										
F			EVIDENTES			OCULT				6	7	3	8								
			A	B	C	D	E	F	G	9	10		11								
		2	N					N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Realizar una limpieza profunda de los motores utilizando brocha y paños, buscando retirar la suciedad de carcasa, interior del motor, cajas de conexión, bobinas, el compartimento de las escobillas y sistema de refrigeración.	2 años	Técnico electricista y auxiliar				
		3	N					N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Verificar la alineación paralela y concéntrica a no más de 0,05mm y la angular a no más de 0,03mm.	8 meses	Técnico mecánico				
		4	N					N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Verificar y ajustar las bases del motor, evitando vibración remanente.	2 años	Técnico electricista y auxiliar				
2	A	1	N					N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: verificar el estado de las conexiones del temporizado, comprobar conductividad, según el caso cambiarlo	4 meses	Técnico electricista				
	B	1	S	N	N	S					N	S			Tarea programada de restauración: verificar el ajuste de tiempo del temporizador, se recomienda verificar también el nivel de presión a los 3 minutos estimados.	4 meses	Técnico electricista				

													Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0			
													Hoja de información RCM						
			Sistema						Código	Facilitador	Hoja N°								
			Rectificadora sin centros M017						M017	David Parra	4								
			Subsistema						Auditor		de								
			Eléctricos y de control						Angélica Laiton		5								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR			
										4	5								
			EVIDENTES				OCULT			6	7	3	8						
			F	FF	MF	A	B	C	D	E	F		G						9
3	A	1	S	S							N	S			Tarea programada de restauración: revisar que los gabinetes de la acometida eléctrica permanezcan cerrados	al iniciar labores			operario
		2	N					S			N	N			Mantenimiento no programado de cambio de una vez: realizar una puesta a tierra para todos los motores de la máquina				Técnico electricista
		3	S	S							N	N			Mantenimiento no programado de cambio de una vez: señalar las zonas de riesgo eléctrico en la máquina y alrededores		Técnico electricista		
		4	N					S			N	N	S		Tarea de búsqueda de fallas: rehabilitar el botón de parada de emergencia y realizar su inspección accionándolo. En caso de falla informar al departamento de mantenimiento.	Una vez a la semana	Operario		
4	A	1	S	S							N	S			Tarea programada de restauración: Revisar las conexiones del amperímetro y comprobar su funcionamiento.	4 meses	Técnico electricista		

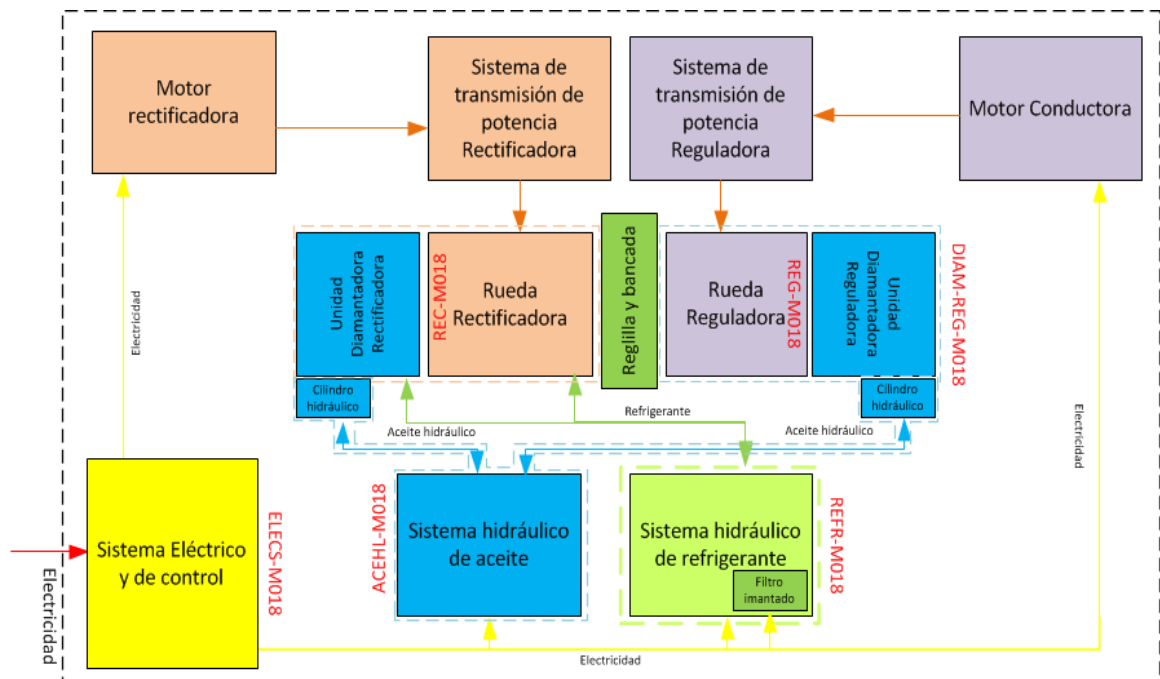
													Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0			
													Hoja de información RCM						
			Sistema						Código	Facilitador	Hoja N°								
			Rectificadora sin centros M017						M017	David Parra	5								
			Subsistema						Auditor		de								
			Eléctricos y de control						Angélica Laiton		5								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de	TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR				
										4	5								
			EVIDENTES				OCULT			6	7	3				8			
			F	FF	MF	A	B	C	D	E	F					G			9
		2	S	S							N	S			Tarea programada de restauración: Revisar el porcentaje de carga procurar que no supere el 75%	Cada vez que se ajuste la reguladora			operario
5	A	1	S	N	N	S					N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Realizar el cambio de la bombilla.				Técnico electricista
		2	N					N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Realizar una inspección de conductividad entre los bornes del contactor y de ajuste de los mismos, limpiar polvo y realizar prueba de movilidad de los elementos. A presencia de anomalía reemplazar el elemento.	4 meses	Técnico electricista		

6. APLICACIÓN DEL PROCESO RCM A LA RECTIFICADORA SIN CENTROS JOTES M018.

6.1 LÍMITES Y JERARQUIAS DEL ACTIVO M018

El activo M018 se ha dividido en subsistemas clasificados por colores. Las líneas de unión representan el flujo de trabajo correspondiente para cada unidad (electricidad, refrigerante o aceite hidráulico).

Figura 65. Límites del activo M018



Fuente: los autores

Para facilitar la manipulación de datos en las secciones siguientes, se adopta un sistema de códigos mostrado a continuación:

Tabla 11. Codificación de los subsistemas del activo M018

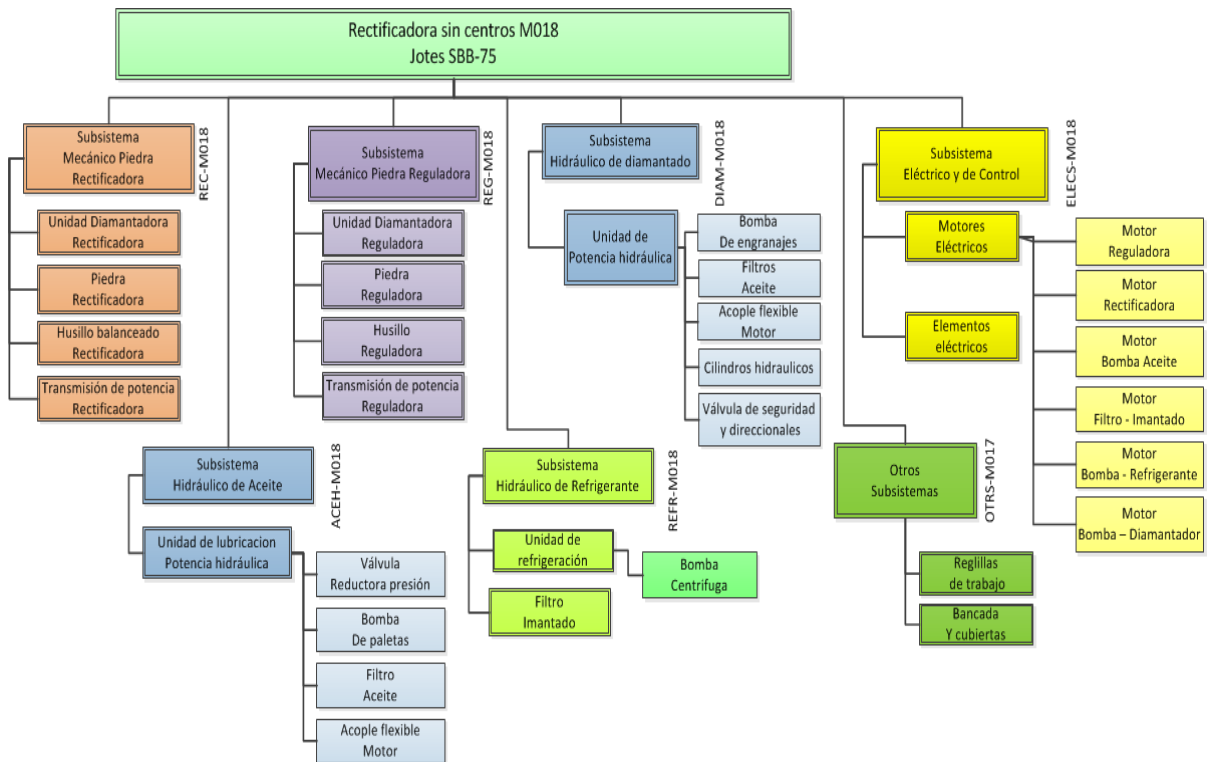
Subsistemas	Código
Sistema mecánico de la piedra rectificadora	REC-M018
Sistema mecánico de la piedra reguladora	REG-M018
Sistema hidráulico de aceite	ACEH-M018
Sistema diamantador	DIAM-M018
Sistema hidráulico de refrigerante	REFR-M018
Sistema eléctrico y de control	ELECS-M018
Otros sistemas adicionales (misceláneos)	OTRS-M018

Fuente: los autores

6.2 GRADO DE DETALLE Y ANÁLISIS

El límite de jerarquía se realizó según la norma ISO 14224, y se muestra a continuación.

Figura 66. Jerarquía de la rectificadora sin centros M018



Fuente: los autores

6.3 CONTEXTO OPERACIONAL DEL ACTIVO M018

6.3.1 Procesos del activo

El activo tiene una capacidad de trabajo para cilindros huecos, con las reglillas actuales de hasta 75 milímetros de diámetro y longitud determinada por el ancho de las piedras de máximo 180 milímetros.

El trabajo en la máquina se realiza por lotes, de acuerdo a la demanda estipulada por el departamento de producción. La jornada laboral de Lavco Ltda. es de Lunes a Sábado de 6:00 am a 2:30 pm, cuando se hace necesario el operario puede tomar horas extra o nocturnas.

6.3.2 Parámetros de calidad.

Se espera que los cilindros sean rectificadas sin superficies ovaladas, cónicas, cóncavas y convexas. Aunque, estos errores dependen de los procesos previos, las rectificadoras pueden contribuir a su mejoramiento.

Los parámetros de calidad se muestran a continuación.

Figura 67. Parámetros de calidad para las piezas de trabajo en las rectificadoras

TOLERANCIA DIMENSIONAL		TOLERANCIA GEOMETRICA	
MINIMO	MAXIMO	CIRCULARIDAD (OVALO)	CILINDRICIDAD (CONO)
NOMINAL - 0,025	NOMINAL + 0,025	Máx. 0,05 mm	Máx. 0,03 mm

Fuente: Departamento de producción Lavco Ltda.

Adicionalmente, se desea un acabado superficial opaco correspondiente a una rugosidad entre 1,6 μm (fino) y 3,2 μm (semi-fino). Por otra parte, se busca que durante el proceso la pieza no se golpee o raye.

Cabe resaltar que es deseado que la producción se entregue en el tiempo estipulado y en el orden de prioridad dado por el departamento de producción.

6.3.3 Parámetros de seguridad.

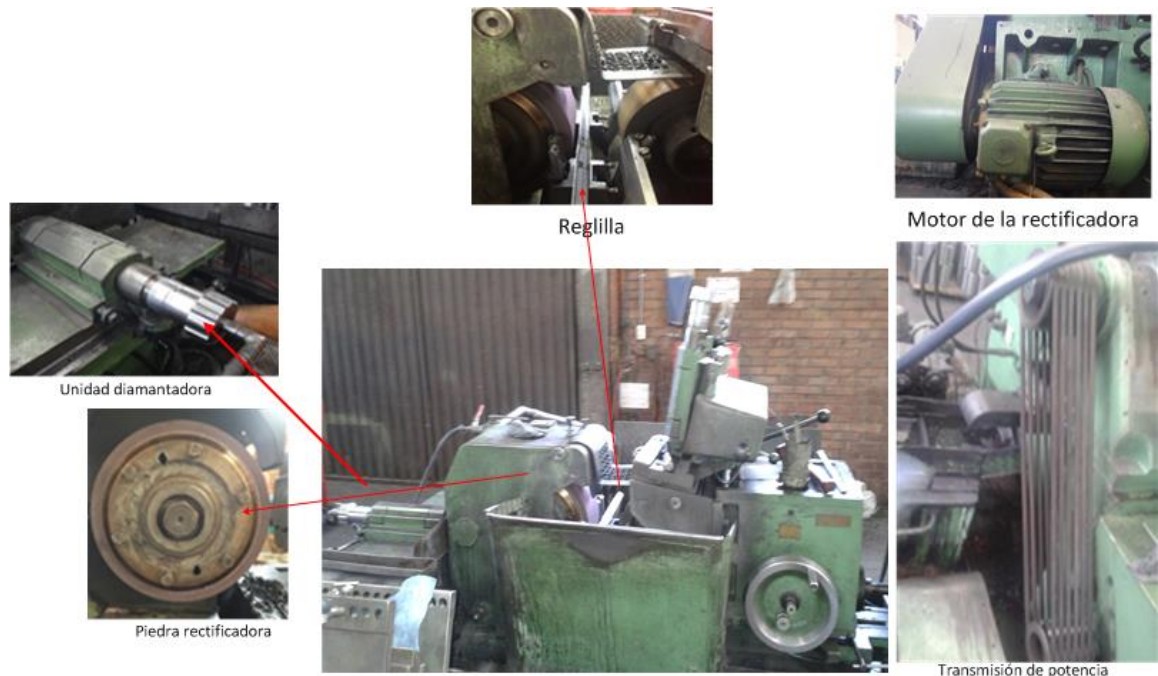
Ciertos riesgos que se han identificados se deben reducir al mínimo. Éstos son, físicos por accidentes con objetos móviles o quemaduras, químicos por manipulación de líquidos para la limpieza o vapor de refrigerante, ergonómicos por la postura adoptada en el lugar de trabajo y psicosociales por estrés laboral y cansancio.

6.4 CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS SUBSISTEMAS DEL ACTIVO M018

6.4.1 Contexto operacional del subsistema mecánico de la piedra rectificadora

La piedra rectificadora es movida por un motor eléctrico de 17 Hp y 1500 RPM acoplado a una transmisión de poleas y seis correas. El husillo principal transmite la potencia a la montura de la piedra rectificadora a una velocidad de 1000 RPM.

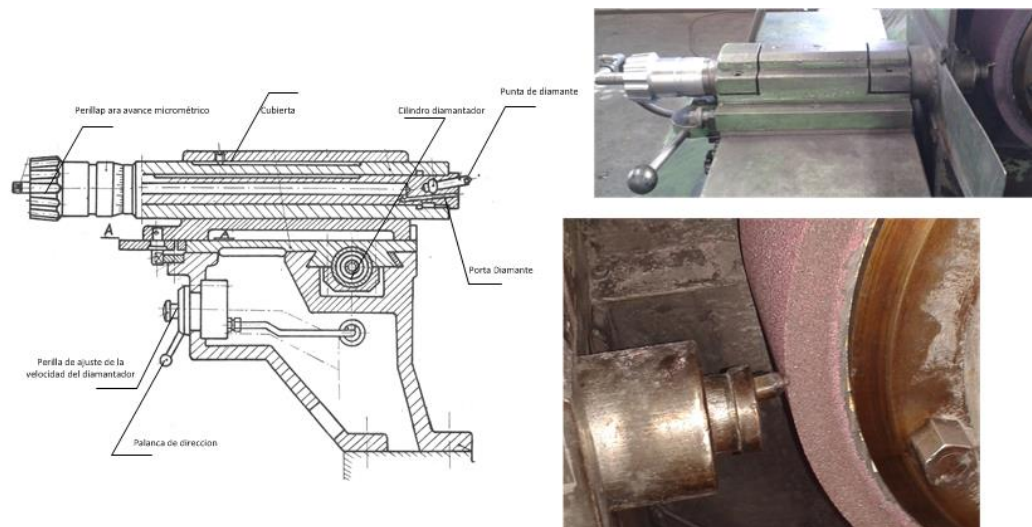
Figura 68. Subsistema piedra rectificadora M018



Fuente: los autores

Durante el proceso de rectificado de piezas, la piedra rectificadora pierde su capacidad de corte inicial, por ello es necesario realizar un proceso de diamantado. Este proceso se lleva a cabo con la unidad diamantadora de la piedra rectificadora, un dispositivo equipado con una punta de diamante intercambiable movido por un cilindro hidráulico. Cuya función es desbastar la superficie de la piedra hasta devolver la capacidad de corte normal

Figura 69. Unidad diamantadora de la piedra rectificadora M018



Fuente: los autores

Un parámetro importante para la piedra rectificadora es la alineación de la montura con respecto al husillo principal, se admite una tolerancia de desalineación de ± 10 mm como máximo. Por otra parte, el balanceo se realiza mediante la disposición de masas en el cubo de la piedra hasta lograr un balance de masa en la piedra.

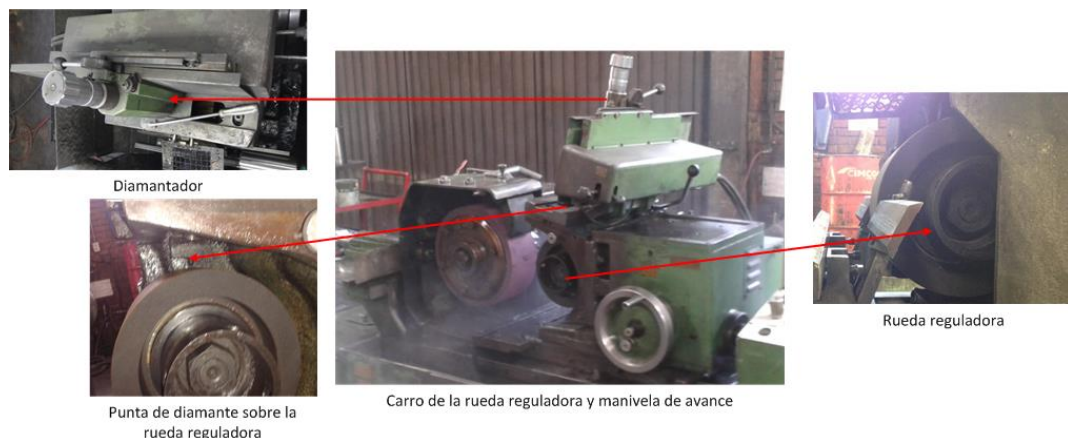
6.4.2 Contexto operacional del subsistema mecánico de la piedra reguladora

La piedra reguladora tiene la función de conducir el movimiento rotativo a la pieza de trabajo, además de permitirle el avance a través de la máquina, su capacidad de corte es nula aunque requiere cierta rugosidad para provocar fuerza de fricción.

La potencia de la rueda reguladora es proporcionada por un motor eléctrico de 1,07 HP y velocidad de 1000 RPM, la transmisión de potencia se lleva a cabo mediante poleas y tres correas nervadas solidarias a un eje conductor de la caja de cambios, el control de dicha velocidad se lleva a cabo mediante una palanca para 2 velocidades; 300 RPM y 80 RPM, y una manivela que permite un rango de velocidades desde 13 hasta 92 RPM.

La piedra reguladora y el diamantador de la misma, están ubicados sobre el carro de aproximación, esto para acercar la piedra reguladora a la pieza y conducirla durante la operación, además la maquina permite un rango de inclinación horizontal de 0 a 3 grados para asegurar el avance de la pieza a través de la máquina.

Figura 70. Subsistema de la piedra reguladora M018

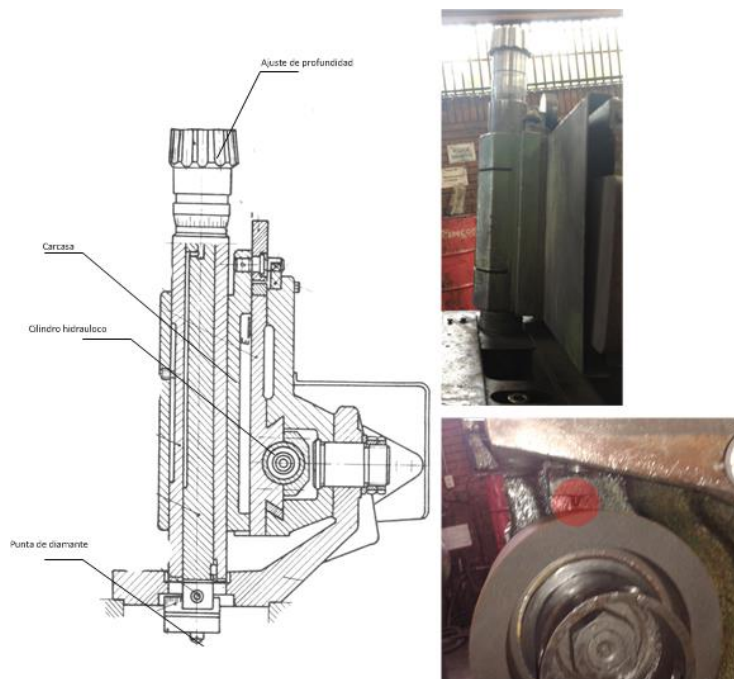


Fuente: los autores

La piedra reguladora debe ser rectificada con una punta de diamante, para recuperar la fricción inicial, esto al igual que la piedra rectificadora, se hace mediante la acción de un cilindro hidráulico que mueve la unidad diamantadora a través de la rueda reguladora.

La montura de la piedra reguladora, se balancea y alinea manualmente, debido a su tamaño y baja velocidad, el grado de balanceo y alineación no es tan estricta.

Figura 71. Unidad diamantadora de la piedra reguladora M018



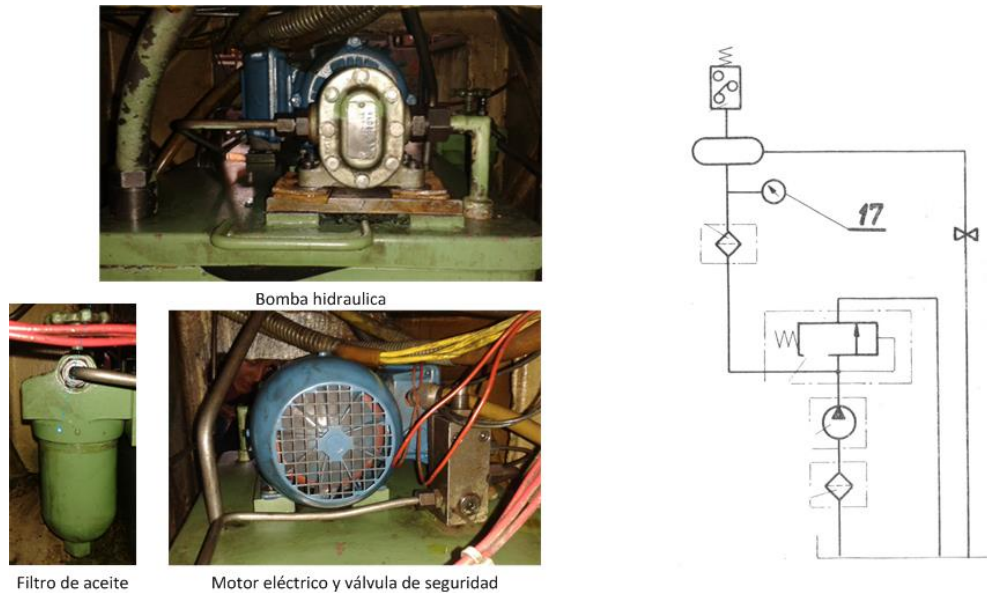
Fuente: los autores

6.4.3 Contexto operacional del subsistema hidráulico de aceite

El subsistema hidráulico de aceite debe mantener lubricado el husillo de la piedra rectificadora desde el momento de la arrancada, para ello, la bomba debe impulsar aceite filtrado a 1.6 GPM y 0.8 kgf/cm² de presión. Las líneas de derivación llevan el aceite hacía el husillo. La máquina cuenta con un interruptor accionado por un flotador mecánico que impide el encendido de la piedra rectificadora, hasta tanto el husillo no esté lubricado.

Para la lubricación de la piedra reguladora y de las unidades diamantadora, se derivan mechas que conducen el aceite desde una caja de aceite hasta los rodamientos y demás partes que necesiten lubricación.

Figura 72. Sistema hidráulico de lubricación M018



Fuente: los autores

6.4.4 Contexto operacional del sistema de diamantado

El sistema de diamantado cuenta con dos unidades diamantadoras descritas anteriormente, para el rectificando de la piedra reguladora y de la rectificadora, estas unidades se desplazan por la acción de cilindros hidráulicos, las partes que pertenecen a este subsistema se describen a continuación.

Figura 73. Sistema hidráulico de la unidad diamantadora M018



Ajuste
velocidad y
dirección de
las unidades
diamantadoras



Unidades diamantadoras



Motor eléctrico y accesorios
hidraulicos

Fuente: los autores

La bomba de engranajes encargada de bombear aceite a una rata de 6.66 GPM y a una presión de 8 kgf/cm^2 recibe la potencia de un motor eléctrico de 1.07 HP y 1500 RPM. Además de los accesorios típicos de un circuito hidráulico (filtros y válvula de seguridad) las unidades diamantadoras cuentan con válvulas de control de caudal para regular la velocidad de desplazamiento de los cilindros hidráulicos. De igual forma se tienen dos válvulas direccionales para desplazar los diamantadores

El control de la velocidad y la dirección de las unidades diamantadoras se da mediante una palanca y una perilla de ajuste dispuestas para cada piedra.

Figura 74. Diagrama hidráulico de la unidad diamantadora

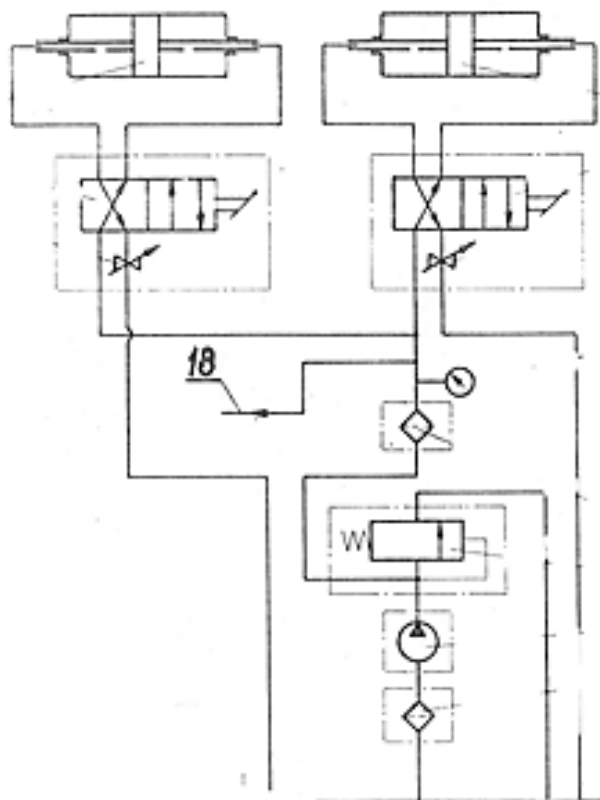


Diagrama hidráulico de las unidades diamantadora

Fuente: Manual de operaciones

El sistema de refrigeración del activo M018 es igual al equivalente del activo M017 a diferencia del tamaño del tanque que tiene un volumen de 73 Gal

6.4.5 Contexto operacional del sistema eléctrico

El sistema eléctrico está compuesto por 6 motores eléctricos que corresponden a las piedras rectificadora, reguladora, bomba de aceite para lubricación, bomba de aceite para unidades diamantadoras, bomba de refrigerante y filtro imantador, los parámetros de funcionamiento para cada motor son la velocidad y potencia especificada.

Tabla 12. Características técnicas de los motores M017

Motor	Características
Piedra rectificadora	17 HP / 220 V / 1500 RPM
Piedra reguladora	1.07 HP / 220 V / 1000 RPM
Bomba aceite lubricación	0.5 HP / 220 V / 1500 RPM
Bomba aceite Diamantado	1.07 HP / 220 V / 1500 RPM
Bomba refrigerante	0.5 HP / 220 V / 2820 RPM
Filtro-imantado	1.4 HP / 220 V / 1700 RPM

Fuente: Los autores

Cada motor tiene sus elementos de protección eléctrica y de control (interruptores, fusibles, contactores, relés térmicos y pulsadores) y son independientes entre sí. Sin embargo, el arranque de la piedra rectificadora se realiza tras haberse encendido la bomba hidráulica y una vez presión en la cámara de los husillos alcance la de trabajo.

El motor de la rectificadora arranca mediante una conexión estrella-delta, también temporizada en aproximadamente 10 segundos.

6.4.6 Otros subsistemas: Reglilla

La reglilla cumple dos funciones principales, la primera, soportar la pieza de trabajo sobre su propio diámetro y por encima de la línea central de las piedras para asegurar una condición de redondez durante el rectificado, y la segunda, guiar la pieza de trabajo a través de la máquina.

El activo M018 solo está en capacidad para rectificar cilindros lisos, por tanto trabaja siempre con la misma reglilla

Figura 75. Reglilla de trabajo M018



Reglilla


Fuente: los autores

6.5 HOJA DE INFORMACIÓN: MÁQUINA RECTIFICADORA SIN CENTROS M018

En las tablas a continuación, se muestra un ejemplo de la unidad hidráulica de lubricación, los demás se encuentran en el anexo D.

		Coordinación de mantenimiento mecánico				
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador		
		Rectificadora sin centros M018	ACEH-M018	Angie Rodríguez		
		Subsistema		Auditor		
		Hidráulico de aceite		Angélica Laiton		
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Bombear aceite filtrado a los husillos de la piedra rectificadora con una presión no menor de 0.8 kg/cm ² y un caudal total 1.6 GPM	a	No lubrica el husillo	1	Válvula de seguridad abierta completamente por atascamiento del carrete	Una válvula de seguridad se puede abrir si el resorte se encuentra fatigado o la holgura entre el casquillo y el carrete es muy amplia producto del desgaste.
				2	Filtro de aceite totalmente obstruido por acción de la suciedad	Ya que los sistemas no son completamente herméticos, los filtros tienen la capacidad de recoger toda la suciedad que se pueda colar, hasta que en algún momento se obstruya y por tanto no pueda enviar caudal a los husillos
				3	Nivel de aceite en el tanque nulo por falta de llenado	La completa ausencia de aceite en el tanque impedirá que la bomba succione líquidos y por tanto los husillos no serán lubricados
				4	Elemento de bombeo severamente desgastado por uso	La rotación constante de las paletas de la bomba gerotor lleva al desgaste en las pistas internas ocasionando que el fluido no levante la suficiente presión para ser bombeado y de esta manera no lubricar los husillos.

Coordinación de mantenimiento mecánico						
Hoja de información RCM						
Sistema		Código		Facilitador		
Rectificadora sin centros M018		ACEH-M018		Angie Rodríguez		
Subsistema				Auditor		
Hidráulico de aceite				Angélica Laiton		
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				5	Condición del aceite inadecuado	Si se emplea un aceite con viscosidad diferente a la recomendada, el fluido contiene partículas o aire, la temperatura de trabajo es muy alta o aceite con uso excesivo afectara la labor de bombeo y lubricación.
		b	Bombee aceite a una presión menor de 0.8 kg/cm ²	1	Válvula reguladora de presión tarada por debajo de la presión de trabajo	Es posible que por equivocación se modifique la perilla de la válvula durante alguna otra labor de mantenimiento, aflojándola en un valor por debajo de la presión de trabajo causal de que la presión no sea la correcta.
				2	Apoyos de la bomba severamente desgastados	La capacidad de levantamiento de presión de la bomba depende la eficiencia mecánica la cual está relacionada con las pérdidas por fricción, en este caso los rodamientos desgastados pueden ser potenciales disipadores de energía.
		c	Bombee aceite a un caudal menor de 1.6 GPM	1	Fugas por los sellos de la bomba en la carcasa	La pérdida de caudal a través de los sellos de la bomba es causal de que no se bombee la cantidad requerida
				2	Ingreso de aire en la succión por desgaste de los sellos o mal instalación de los racores	El aire en succión puede ingresar a la bomba si viene inmerso en el fluido turbulento o en las uniones de la tubería de entrada, este gas puede reducir el caudal al ocupar el espacio que debería bombear.

							Coordinación de mantenimiento mecánico										
							Hoja de información RCM										
							Sistema		Código		Facilitador						
							Rectificadora sin centros M018		ACEH-M018		Angie Rodríguez						
														Subsistema		Auditor	
														Hidráulico de aceite		Angélica Laiton	
F	FUNCIÓN		FF	FALLA FUNCIONAL		MF	MODO DE FALLA		EFECTOS DE FALLA								
2	Contener el aceite en las líneas del sistema		a	No contiene el aceite dentro del sistema		1	Fugas en mangueras y acoples por instalación		El deterioro de las mangueras, de los empaques en los acoples y los ductos permiten pérdidas importantes de aceite.								
3	Aliviar la presión en el sistema si esta excede un valor no menor de 1.57 kgf/cm ² .		a	No alivia la presión en el sistema		1	Válvula reguladora de presión mal tarada (diferente a 1.04 kg/cm ²)		El taraje de la válvula está por encima de la presión de trabajo, si este valor es muy alto no se puede tener la certeza que en una eventual sobrepresión en el sistema el fluido pueda retornar al tanque y no cause efectos adversos.								


6.6 HOJA DE DECISIÓN: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO MÁQUINA RECTIFICADORA SIN CENTROS M018


Las tablas a continuación, analizan las consecuencias de cada modo de falla, y dependiendo de la severidad, justifica si merece una tarea de mantenimiento.

Las consecuencias contempladas son:

- Fallas ocultas o evidentes
- Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.
- Consecuencias operacionales.
- Consecuencias no operacionales.

Al clasificar las consecuencias, se utiliza el diagrama de decisión para establecer qué tipo de tarea se va a realizar.

													Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0		
													Hoja de información RCM					
			Sistema				Código				Facilitador		Hoja N°					
			Rectificadora M018				REFR-M018				Angie Rodríguez		1					
			Subsistema				Auditor				de							
			Refrigerante				Angélica Laiton				3							
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1		2		Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
										4		5						
			EVIDENTES				OCULTAS			6	7	3	8					
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10		11					
1	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea de restitución programada: Realizar un análisis de concentración del refrigerante al 20%. Utilizar refractómetro.	15 días	Auxiliar de mantenimiento		
			N				N	N	S	N	S			Tarea de restitución programada: Realizar un análisis de pH del refrigerante de 10 ±1. Utilizar papel de Ph	15 días	Auxiliar de mantenimiento		
2	A	1	N				N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez, Dirigir el caudal de 40 lit/min directo a la pieza de manera uniforme, dado el caso rediseñar el difusor		Técnico mecánico		
	B	1	S	N	N	S				N	S			Tarea de restitución programada: Realizar una limpieza del refrigerante utilizando un filtro de tela para vaciar el tanque el cual deberá ser limpiado en su totalidad restablecer el volumen perdido bajo las consideraciones de concentración y pH. Utilizar agua proveniente del acueducto	15 días	Auxiliar de mantenimiento		
3	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restitución: Limpiar el impeler de la bomba, revisar el estado del mismo	1 año	Técnico mecánico		
	B	1	N				N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez, Revisar las especificaciones de presión y caudal para seleccionar la adecuada combinación Bomba-Motor y realizar el reemplazo		Jefe de mantenimiento		

													Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0			
													Hoja de información RCM							
			Sistema						Código				Facilitador		Hoja N°					
			Rectificadora M08						REFR-M018				Angie Rodríguez		2					
													Subsistema		Auditor		de			
													Refrigeración		Angélica Laiton		3			
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1		2		Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR		
										4		5								
F			EVIDENTES				OCULTAS			6		7		3					8	
			A		B		C		D	E	F	G	9						10	11
4	A	1	N					N	N	S	N	S								
		2	S	N	N	S					N	S								
		3	N					N	N	S	N	S								
		4	S	N	N	S					N	N						Jefe de mantenimiento		
5	A	1	S	N	N	S					N	N						Técnico mecánico		

													Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0	
													Hoja de información RCM					
			Sistema						Código				Facilitador		Hoja N°			
			Rectificadora M018						REFR-M018				Angie Rodríguez		3			
			Subsistema						Auditor				de					
			Refrigerante						Angélica Laiton				3					
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1		2		Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
										4		5						
F			EVIDENTES			OCULTAS				6		7		3		8		11
			A B C D E F G			9		10										
		2	S	N	N	S					N	N			Mantenimiento no programado de cambio de una vez: Acondicionar las guardas de la máquina de tal manera que no haya fugas. Restituir empaques en la bancada y la descarga de refrigerante de retorno		Técnico mecánico	

7. ANÁLISIS DE COSTOS DEL MANTENIMIENTO

7.1 GESTIÓN DE COSTOS DE MANTENIMIENTO EN LAVCO LTDA.

En industrias Lavco Ltda. se manejan tres tipos de costos clasificados de la siguiente manera:

- Costos de operación: tienen que ver con la mano de obra, comprende sueldos, subsidios de transporte y alimentación, cesantía, etc.
- Costos de insumos para las máquinas: Comprende los materiales que se necesitan para la operación, por ejemplo, refrigerante, piedras abrasivas, lubricante, etc.
- Costos de materiales: Dado que el mantenimiento contratado es nulo, Lavco Ltda. maneja el costo por adquisición de material para fabricar por si mismos los repuestos necesarios.

La contabilidad de costos en la empresa se lleva a cabo a nivel global. A partir del año 2012, se implementó la fase inicial de un proyecto encaminado a la mejora de la gestión del mantenimiento y la completa evaluación de los costos. Por este motivo, los datos sobre los costos reales con el tipo de mantenimiento actual no se pueden determinar con certeza.

7.2 RELACIÓN BENEFICIO-COSTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.

La relación beneficio costo, es una manera de evaluar la viabilidad de un proyecto. Compara los beneficios que se pueden lograr contra la inversión y gasto del proyecto, dicha relación debe ser mayor a 1 para considerarse satisfactoria.

La relación B/C se define matemáticamente así:

Ecuación 9. Relación beneficio-costo

$$BC(i) = \frac{B}{C}$$

Donde $I + C' > 0$

Fuente:

Los términos de la ecuación se evalúan en términos monetarios sobre una misma escala de tiempo, bien sea al tiempo presente o base anual, de esta manera se define cada elemento:

Ecuación 10. Relaciones beneficio y costo

$$B = \sum_{n=0}^N b_n * (1 + i)^{-n}$$

$$C = \sum_{n=0}^N c_n * (1 + i)^{-n}$$

Donde $b_n = \text{beneficios al final del periodo } n$

$c_n = \text{costos al final del periodo } n$

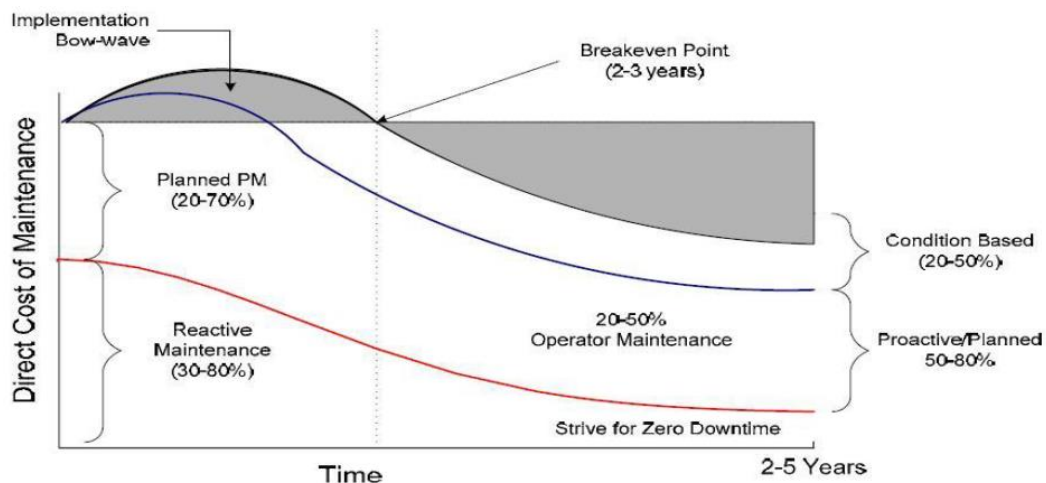
$N = \text{vida del proyecto}$

$i = \text{tasa de interes}$

Los costos que asume el capitalista (quien financia el proyecto), se dividen en la inversión de capital I y los costos anuales de operación C' acumulados en cada periodo sucesivo.

Como es típico en RCM se espera que los costos en el primer año de ejecución aumenten a causa de la implementación, pero después se reduzcan a causa de la eliminación de los mantenimientos correctivos como lo muestra la siguiente figura.

Figura 76. Costos de mantenimiento RCM



Source: Taking the Forties Field to 2010, R.L. Thompson, et al. BP Exploration, Presented at SPE International Offshore European Conference, Aberdeen, Scotland, Sept. 1999

Fuente: NASA, Reliability centered maintenance guide for facilities and collateral equipment. 2008.

Para el caso del plan de mantenimiento la relación de beneficio se puede interpretar como aquellas acciones que se evitaban y cuyo coste adicional se podrá ahorrar, por ejemplo, el costo por parada de la máquina y mantenimiento correctivo.

Los costos que se evalúan son los correspondiente a implantar el plan de mantenimiento y su sucesiva ejecución programada durante un periodo de tiempo específico.

Ecuación 11. Relación beneficio costo específica

$$B/C = \frac{\text{Perdidas por paradas} + \text{Costo de la máquina} + \text{Mto correctivo}}{\text{Costo inicial} + \text{Costo planificado}}$$

Fuente: los autores

7.2.1 Cálculos de los beneficios

Se puede estimar el mantenimiento correctivo, contabilizando el tiempo de parada por acciones inesperadas y multiplicándolo por el precio de hora/hombre (\$ 8.750).

La depreciación de la máquina se puede estimar, si se conoce el precio inicial de la compra, tiempo de servicio de la máquina y el tiempo de vida útil estimado.

Tabla 13. Costos por mantenimiento correctivo y depreciación del activo

Equipo	T parada [horas]	MTO Correctivo	Depreciación
Rectificadora M017	134,5	\$ 1.307.638,89	\$ 9.327.676,05
Rectificadora M018	74	\$ 719.444,44	\$ 10.802.256,13
Total	208,5	\$ 2.027.083,33	\$ 20.129.932,18

Fuente: los autores

El costo operacional es aquel que genera una parada, es decir el precio estimado por camisa que se deja de procesar.

Tabla 14. Costos estimados por operación

	Camisas/hora	Precio/camisa	Tiempo parada	Costo/parada
Rectificadora M017	50	\$ 11.000	134,5	\$ 73.975.000
Rectificadora M018	50	\$ 11.000	74	\$ 40.700.000
			Total	\$ 114.675.000

Fuente: Los autores

Aplicando la ecuación 10, se puede calcular los beneficios a tiempo presente y se supone una tasa de interés del 20% efectivo anual (por encima de la inflación). El periodo de análisis del proyecto son 5 años.

$$B = \sum_{n=0}^5 b_n * (1 + 0,2)^{-5} = \$ 369.140.599,35$$

7.2.2 Cálculo de los costos

Los costos comprenden los valores fijos como capital inicial e inversiones y las tareas de mantenimiento programado, se supone que las acciones de mantenimiento correctivo se reducen al mínimo.

Los costos de las tareas comprenden la mano de obra para la ejecución, el tiempo estimado para la ejecución de la tarea, costo de hora/hombre, porcentaje por materiales necesarios y contratos en el caso de tareas bajo condición.

Tabla 15. Costos en valor presente de tareas programadas

	M017	M018
Tareas a 2 años	\$ 100.486	\$ 173.487,60
Tareas anuales	\$ 444.438	\$ 917.951,78
Tareas a 8 meses	\$ 1.557.385	\$ 1.946.490,64
Tareas a 6 meses	\$ 469.288	\$ 381.724,24
Tareas a 4 meses	\$ 3.758.090,05	\$ 601.629,61
Tareas a 3 meses	\$ 962.433	\$ 174.117,83
Tareas a 2 meses	\$ -	\$ 1.586.503,58
Tareas mensuales	\$ 17.614.128	\$ 1.124.161,51
Tareas quincenales	\$ 212.246.607	\$ 13.742.072,73
Total individual	\$ 237.152.855	\$ 20.648.139,53
TOTAL	\$	257.800.994,28

Fuente: los autores

Los costos iniciales comprenden actividades de puesta a punto de las máquinas y evaluaciones de rediseño. Se calculan siguiendo los mismos supuestos anteriores.

Tabla 16. Costos en valor presente inicial

	Rectificadora M017	Rectificadora M018
Inversión inmediata	\$ 3.504.166,67	\$ 4.925.000,00
Inversión anual	\$ 521.739,13	\$ 173.913,04
Valor total presente	\$ 4.025.905,80	\$ 5.098.913,04

Fuente: Los autores

De la ecuación 10, se calculan los costos a tiempo presente, y se supone una tasa de interés del 20% efectivo anual (por encima de la inflación). El periodo de análisis del proyecto son 5 años.

$$C = I + C' = \sum_{n=0}^{K=1} c_n * (1 + 0,2)^{-1} + \sum_{n=K+1=2}^5 c_n * (1 + 0,2)^{-5} = \$ 266.925.813,12$$

7.2.3 Cálculo de la relación

Como se ha dicho, la relación es satisfactoria si es mayor que 1.

$$B/C = \frac{\$ 369.140.599,35}{\$ 266.925.813,12} = 1,38$$

La relación es mayor que 1, se puede concluir que el plan de mantenimiento es satisfactorio, sin embargo el cálculo se puede afinar al disponer de mayor información sobre paradas y costos específicos de cada máquina, estos datos están en fase de recolección por parte de la empresa.

8. CONCLUSIONES

- Se estableció el plan de mantenimiento basado en confiabilidad para las rectificadoras sin centros M017 y M018, teniendo en cuenta la metodología planteada por la norma SAE JA 1011 y SAE JA 1012. El plan de mantenimiento se enfoca en la seguridad, la mejora en la operación y la calidad del producto, las tareas planteadas atienden a la probabilidad de ocurrencia de los modos de fallo.

Por otro lado, se observó que la carga de mantenimiento actual comparada con la propuesta, no difiere significativamente. Sin embargo, los intervalos de tiempo propuestos representan una mejora en la gestión de mantenimiento, puesto que se atiende de manera organizada las partes específicas de los subsistemas que constituyen cada activo.

Adicionalmente, se plantean tareas de puesta a punto de la máquina, ya que se determinó la importancia de los subsistemas deshabilitados en el pasado, por desconocimiento técnico del mantenimiento, en la realización del trabajo y la calidad del producto.

- Se optimizó la documentación conocida de los activos en conformidad con la norma ISO 14224, registrando información sobre las características técnicas, procedimientos de trabajo y labores generales de mantenimiento.

Se hizo un seguimiento de cada proceso de mantenimiento y operación desempeñado por el personal. Estos procedimientos, fueron evaluados para determinar su correcta realización. Dichos procedimientos se documentaron en dos manuales de operaciones (OMA-M.MQ017 y OMA-M.MQ018), acordes al sistema de gestión de calidad de la empresa. Adicionalmente, se incluyó una investigación sobre la influencia de los parámetros de configuración de las máquinas en errores típicos de rugosidad y redondez.

- Se identificó el mal actor mediante un análisis causa efecto el cuál se incluyó en el análisis FMEA dado que se considera equivalente. Se tomaron en cuenta las causas que afectan la calidad del producto directamente, estas son: errores de redondez como convexidad y ovalamiento, cuya solución se incluyó directamente en las tareas propuestas.
- Se identificaron las fallas potenciales de los activos utilizando el análisis de modos y efectos de falla, planteado por las normas SAE JA 1011 y 1012.

El análisis demostró que la mayoría de tareas que los activos requieren son del tipo preventivo, esto es cierto ya que se estableció la mejora de la operación como un criterio decisivo. Adicionalmente, lo que se pretende con el plan es la preservación de las funciones del activo, contrario a lo que podría ofrecer un mantenimiento netamente correctivo cuyo enfoque permite el fallo inesperado de los componentes poniendo en riesgo la operación.

Algunas tareas bajo condición se plantearon como apoyo a las ya mencionadas, una de ella fue el análisis periódico de lubricantes, para determinar el estado del fluido y posibles fallos en los apoyos de los husillos.

Las tareas planteadas atienden prioritariamente a los equipos cuya funciones son vitales para el funcionamiento de los activos, por este motivo es importante la puesta a punto al inicio de la ejecución del plan.

- Se realizó un análisis de costo beneficio para determinar la viabilidad del plan de mantenimiento. La relación obtenida fue de 1,38 lo que quiere decir que es factible su realización.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda estipular y capacitar a los operarios sobre los parámetros de optimización de rectificado, tanto para las piezas de trabajo como las piedras, con el fin de mejorar la calidad del producto y disminuir tiempos en la operación, esto es, prestar atención a la velocidad de avance, profundidad de corte de las unidades diamantadoras y velocidad de la piedra conductora.
- Se recomienda evaluar la eficiencia del sistema de filtrado de refrigerante y contemplar un posible rediseño. Se observó que el sistema puede capturar las partículas ferromagnéticas a un 80%, pero deja a traspasar aquellas provenientes del desgaste de las piedras y de la suciedad en general, las consecuencias son visibles a simple vista y van desde una desmejora en la calidad del producto hasta la avería del activo en general.
- Se recomienda realizar una retroalimentación periódica a la información contenida en el plan, dado que este mejora a medida que pasa el tiempo, para ello se sugiere la creación de un comité del área de mantenimiento con participación directa de los operarios y mantenedores, puesto que ellos tienen una relación más estrecha con los activos.
- Se recomienda implementar un análisis más detallado de los costos de mantenimiento de los activos para evaluar su eficiencia periódicamente.

BIBLIOGRAFIA

ADMINISTRATION NATIONAL AERONATICS AND SPACE, NASA. Reliability centered maintenance guide for facilities and collateral equipment. 2000.

AGUIRRE VERA, Helver Mauricio; BONILLA ESCOBAR, Cesar Ivan. Modelo de gestión de mantenimiento a la empacadora Merello ME-104 basado en RCM Trabajo de grado (Especialización en gerencia de mantenimiento). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2010.

CABRERA, Sexto. La confiabilidad integral del activo . 2008. Vol. 1, p. 49–56.

HASHIMOTO, F. and LAHOTI, G.D. Optimization of Set-up Conditions for Stability of The Centerless Grinding Process. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* [en línea]. Enero 2004. Vol. 53, no. 1, p. 271–274. [Consultado 29 de Marzo 2014]. DOI 10.1016/S0007-8506(07)60696-9. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850607606969>

HASHIMOTO, Fukuo, GALLEGO, Ivan, OLIVEIRA, João F.G., BARRENETXEA, David, TAKAHASHI, Mitsuaki, SAKAKIBARA, Kenji, STÅLFELT, Hans-Olof, STAADT, Gerd and OGAWA, Koji. Advances in centerless grinding technology. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* [en línea]. Enero 2012. Vol. 61, no. 2, p. 747–770. [Consultado: 29 Marzo 2014]. DOI 10.1016/j.cirp.2012.05.003. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850612002028>

INDUSTRIAS LAVCO LTDA. *Procedimiento de mantenimiento Doc. OMA-P.CP*. Bucaramanga, Colombia : Documentación interna LAVCO Ltda., 2013. pág. 14. ----- . *Manual de operación y mantenimiento - rectificadora sin centros Cincinnati serie 300 - M017*. Bucaramanga, Colombia. : Industrias Lavco Ltda., 2013. pág. 27.

----- . *Manual de operación y mantenimiento - rectificadora sin centros Cincinnati serie 300 - M018*. Bucaramanga, Colombia : Industrias Lavcot Ltda., 2013. pág. 25.

----- . Página principal de LAVCO Ltda. [En línea] [Citado el: 25 de 06 de 2013.] <http://www.lavco.com.co/index.php?idioma=1>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Industrias de petróleo y gas natural - recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos - ISO 14224*. Geneva, 2000.

----- . *Mechanical vibration - Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state - Part 1: Specification and verification of balance tolerances - ISO 1940-1*. Geneva, 2003.

MARINESCU, Ioan D., ROWE, W. Brian, DIMITROV, Boris and OHMORI, Hitoshi. *Tribology of Abrasive Machining Processes* [en línea]. Elsevier, 2013. [Consultado 13 Abril 2014]. ISBN 9781437734676. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978143773467600015X>

MOUBRAY, John. *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. 2da. 1997.

NIETO GONZALEZ, Hernando. *Modelo de optimización para el mantenimiento proactivo de los equipos críticos de un tren de laminación en frío basado en RCM. Trabajo de grado (especialista en gerencia de mantenimiento)*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2011.

PULIDO RAMÍREZ, Ricardo. *Análisis estructural y económico de mantenimiento centrado en confiabilidad para equipos electromecánicos en la planta de tratamiento Bosconia del acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. Trabajo de grado (ingeniero mecánico)*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2011.

ROWE, W. Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. 1ra. William Andrew, 2014. ISBN 0815520190, 9780815520191.

RUÍZ ORJUELA, Erika Tatiana. *Mejoramiento de los procesos productivos en industrias LAVCO Ltda. Trabajo de grado (ingeniera industrial)*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, 2013.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. *A guide to the reliability-centered maintenance (RCM) standard - SAE JA 1012*. 2002.

------. *Evaluation criteria for reliability-centered maintenace (RCM) processes - SAE JA 1011*. 1999.

------. *Potential failure mode and effects analysis in design (Design FMEA), in manufacturing and assembly processes (Processes FMEA) and for machinery (Machinery FMEA)*. SAE J1739. AUG2002. Warrendale, Pennsylvania : SAE Standards, 2002. pág. 32.

SUBRAMANYA UDUPA, N.G., SHUNMUGAM, M.S. and RADHAKRISHNAN, V. Influence of workpiece position on roundness error and surface finish in centreless grinding. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* [en línea]. Enero 1987. Vol. 27, no. 1, p. 77–89. [Consultado 29 Marzo 2014]. DOI 10.1016/S0890-6955(87)80041-X. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089069558780041X>

VALDERRAMA RODRÍGUEZ, Juan Ignacio. *Integración de los procesos del departamento de mantenimiento de industrias Lavco Ltda. con la gestión de activos bajo la guía estándar PAS-55:2008. Trabajo de grado (ingeniero mecánico)*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2013.

ANEXOS

ANEXO A. OPTIMIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LOS ACTIVOS

OPERACIÓN

En este capítulo se explican las labores más comúnmente hechas en el activo, así como, algunas recomendaciones de seguridad en general.

PERFIL DEL OPERARIO

La persona encargada de operar las rectificadoras sin-centros debe certificar en su hoja de vida, un grado de escolaridad equivalente a bachiller técnico con certificado de aptitud profesional (CAP) expedido por una entidad escolar habilitada o debe tener experiencia con máquinas herramientas.

El operario debe comprometerse a:

- Conocer y entender el presente documento.
- Realizar el adecuado alistamiento de la máquina, de acuerdo a lo estipulado en el presente manual.
- Operar la máquina de forma segura, siendo este un factor predominante.
- Reportar anomalías en la máquina de manera ágil y oportuna.
- Conocer y entender los procedimientos de seguridad internos de LAVCO Ltda.
- Mantener su lugar de trabajo aseado y ordenado.

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

Para la reducción de riesgos, las personas directamente relacionadas con el activo deben tener en cuenta las recomendaciones pertinentes al usuario, las herramientas, los equipos auxiliares y el ambiente de trabajo.

Clasificación de las recomendaciones de seguridad



Fuente: los autores

Recomendaciones de seguridad referente a los usuarios del activo

El operario debe tener en cuenta que el acceso al área de trabajo solo se hará una vez tenga a disposición los elementos de protección.

Se debe evitar el ingreso de morrales, aparatos electrónicos o paquetes al área de trabajo.

- El desplazamiento por la planta debe hacerse con precaución.
- Las máquinas sin vigilancia deben permanecer apagadas.
- Dentro de la instalación se debe evitar consumir alimentos, para ello se dispone de la cafetería.

Recomendaciones en el uso de la indumentaria

Los elementos de protección personal son muy importantes en la prevención y el control de riesgos. La falla o el inadecuado uso de éstos, podrían comprometer la integridad del trabajador.

Los elementos mostrados, son indispensables para el uso de la máquina:

Indumentaria de seguridad



Fuente: Los autores

Recomendaciones de seguridad para el uso de herramientas

Al iniciar labores, se deben seleccionar los elementos adecuados para las tareas a desarrollar. Su transporte se hace en una caja de herramientas y nunca en los bolsillos de la ropa.

Las herramientas se deben mantener en buenas condiciones, para ello, se deben inspeccionar periódicamente con el fin de evaluar su estado, su posterior arreglo o su cambio total.

Se debe hacer uso de cada herramienta de acuerdo a su función específica, por ejemplo, se debe evitar el uso de llaves de ajuste como martillos.

Las herramientas usadas para la operación de la máquina se listan a continuación:

- Llave Bristol 3/16.
- Llave Bristol 5/32.
- Llave Bristol 8 mm.
- Llave mixta de 3/16.
- Destornillador de pala.
- Llave mixta de 24 mm.
- Llave mixta de ½.

Las herramientas de medición usadas son:

- Micrómetros.
- Guitarra de medición.

Herramientas usadas para la medición



Micrómetro tipo Palmer



Micrómetros tipo carátula

Fuente: Los autores

Recomendaciones de seguridad para el uso de la máquina y equipos auxiliares

El mantenimiento de la máquina, será hecho únicamente por el personal capacitado de acuerdo al plan de mantenimiento del activo.

Las estructuras de las máquinas y equipos accionados con electricidad deberán conectarse a tomas con polo a tierra.

Se debe evitar el uso del aire comprimido para retirar polvo o viruta, ya que su levantamiento, puede producir lesiones en los ojos y en los oídos. En lugar de ello, se debe utilizar un cepillo o un equipo de aspiración.

Para la limpieza se deben usar líquidos no irritantes, no tóxicos y de baja inflamabilidad, por ejemplo varsol.

Recomendaciones de seguridad para el ambiente de trabajo

Es indispensable conocer los protocolos de seguridad y evacuación de la planta, esto también comprende la ubicación de los extintores de incendio y su modo de uso.

El ambiente debe contar con la iluminación suficiente para abarcar toda el área de trabajo.

La fuente de luz no debe afectar el campo visual del operario, esto para evitar deslumbramientos directos.

El lugar de trabajo debe contar con una ventilación que asegure un ambiente favorable para las labores, procurando que las partículas en suspensión sean evacuadas correctamente.

El ruido dentro de la planta debe controlarse a los niveles mínimos. Sin embargo, los empleados deben utilizar protectores auditivos.

DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN

En este capítulo, se describe el procedimiento que el operario debe realizar cada día antes y durante la operación.

Limpieza del activo al inicio de la jornada

Este procedimiento consiste en limpiar el barro y la taladrina acumulados en el imán, así como, los alrededores del activo (viruta acumulada en el piso), limpiar la bancada para retirar la taladrina acumulada y posterior lubricación, verificar las acoples de las válvulas, limpiar cuidadosamente las zonas ubicadas debajo de las piedras, alistar las herramientas e informar posibles anomalías en el activo.

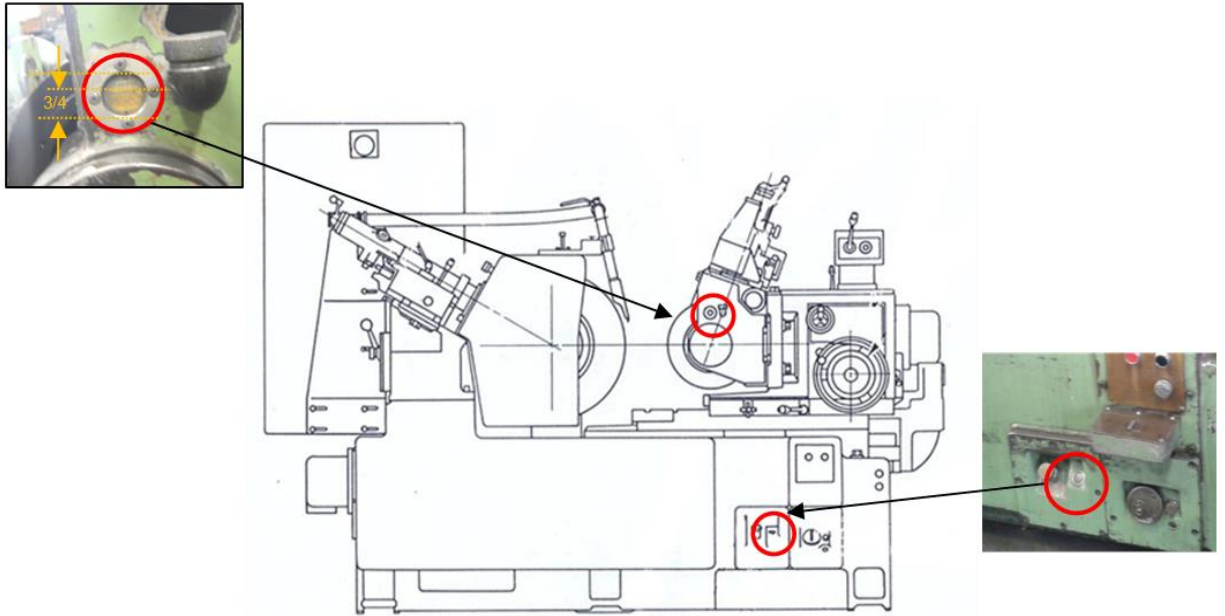
Revisión de los niveles de aceite

La siguiente figura muestra los puntos de verificación de aceite. Estos corresponden a los del tanque principal, tanque de lubricación de la bancada y al del eje de la rueda conductora.

Dichos niveles deben estar aproximadamente a $\frac{3}{4}$ de altura en la mirilla. Es importante que, estos indicadores se visualicen cuando la maquina se encuentre apagada al inicio de la jornada, ya que cambian cuando la máquina se enciende.

- Aceite del tanque de la unidad principal: Morlina 10.
- Aceite de lubricación de la bancada: ISO TP 37.

Ubicación de los visores de aceite para el tanque y para el eje de la piedra reguladora



Fuente: los autores

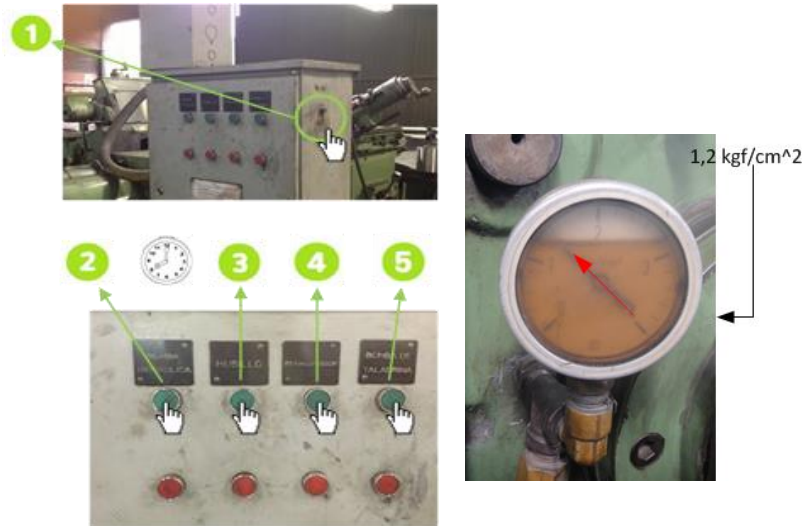
Si los niveles de aceite no corresponden a los especificados anteriormente, el operario debe informar al departamento de mantenimiento para realizar el procedimiento de llenado.

Procedimiento de encendido y apagado

- Energizar los circuitos mediante el interruptor principal (No. 1).
- Encender el motor de la bomba hidráulica (No. 2), este sistema está temporizado a aproximadamente 3 minutos, el objetivo es asegurar que los husillos de los ejes se llenen completamente de aceite.
- Encender los demás motores, cuando la bombilla de color verde lo indique. Es importante observar el nivel de presión de la bomba, el cual debe estar por encima de 1 kg/cm^2 .
- Energizar consecutivamente, el motor de la rueda rectificadora (husillo), el filtro imantado y la bomba de refrigerante (No. 3, 4 y 5).

El procedimiento de apagado se realiza en orden inverso, cuidando de que al apagar el imantador, todo el refrigerante haya retornado al tanque.

Ubicación de los pulsadores de encendido y apagado



Fuente: los autores

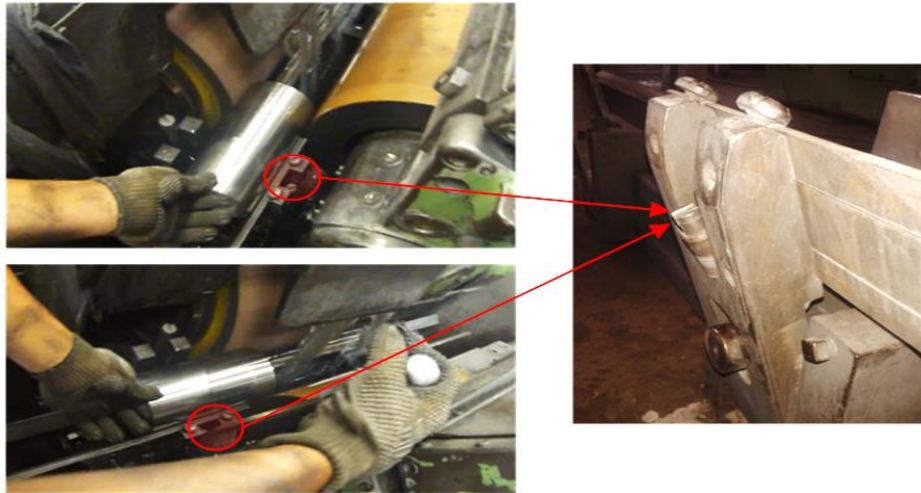
Revisar el material de trabajo y la prioridad

El operario de tener en cuenta varios aspectos antes de preparar la materia prima para el trabajo:

- Dar prioridad a las órdenes de entrega estipuladas por el departamento de producción.
- Ordenar las piezas a mecanizar de acuerdo a diámetros similares para evitar el ajuste de la reglilla con demasiada frecuencia.
- Determinar el número de piezas a mecanizar por lote de trabajo. Esto para estimar la duración de la rugosidad de la piedra rectificadora y el momento de realización del diamantado.

- Procurar que la ceja no se dañe, para ello se deja una distancia de aproximadamente 2 mm entre la piedra y la ceja.
- Mover la piedra reguladora hasta hacer contacto con la pieza.

Ajuste de las guías de la reglilla según el diámetro de la pieza (Productos lisos)

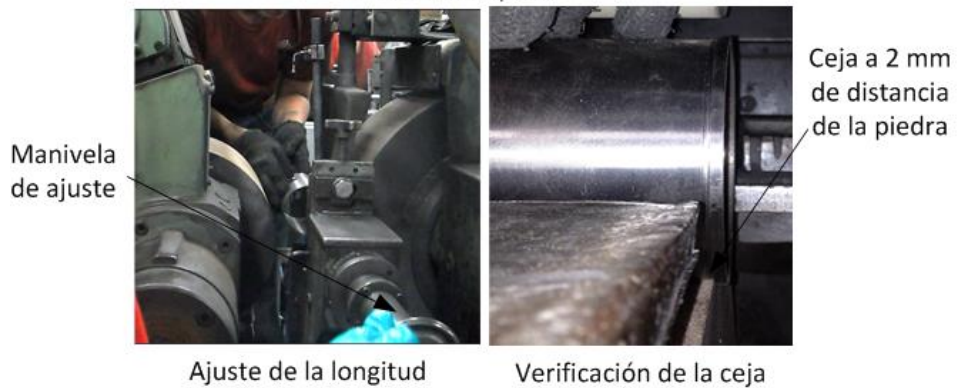


Fuentes: Los autores

Ajuste de la longitud de la reglilla según la pieza (Productos con ceja)



Ubicación de pieza



Manivela de ajuste

Ceja a 2 mm de distancia de la piedra

Ajuste de la longitud

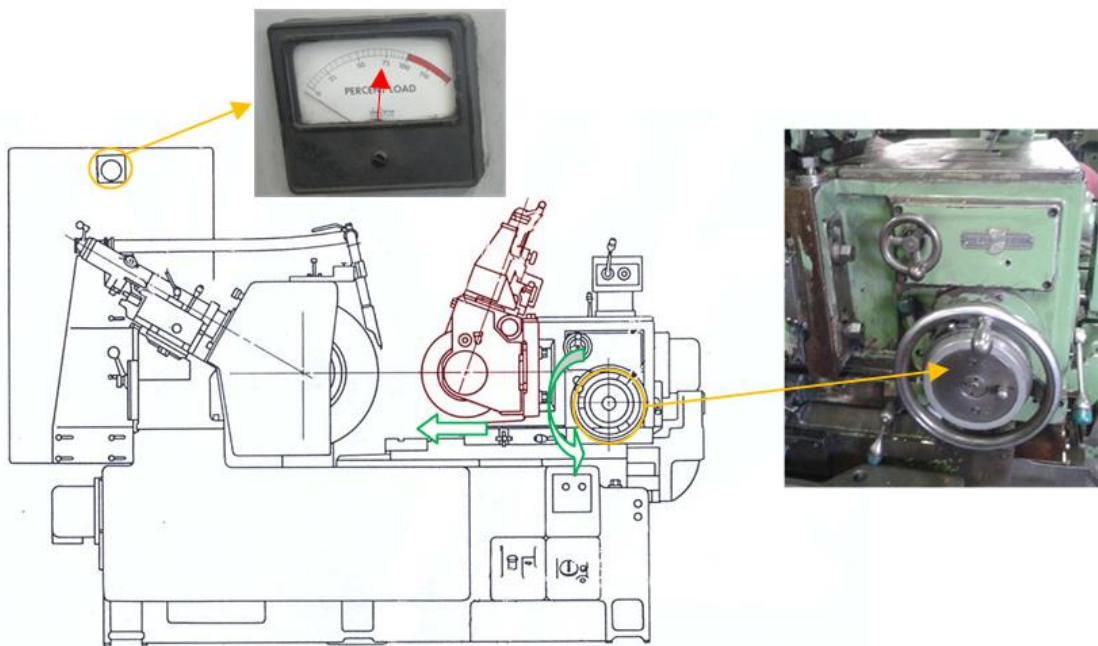
Verificación de la ceja

Fuente: Los autores

Ajuste de la rueda reguladora de acuerdo al diámetro de la pieza

- Girar la manivela de avance para aproximar la piedra reguladora hasta que la pieza haga contacto con la rueda rectificadora.
- Hacer un primer rectificado para verificar el porcentaje de carga sobre el husillo que no debe exceder de 100%. Se recomienda trabajar sobre el 75% de carga.
- Para reducir el porcentaje de carga, se devuelve el giro de la manivela de avance de la piedra reguladora hasta quedar en los niveles admisibles.

Movimientos de la rueda reguladora



Fuente: los autores

Patronado para el rectificado de las piezas

Una herramienta particular para el trabajo con las rectificadoras son los calibradores tipo caratula, estos hacen que el trabajo sea más rápido y ágil en la medición de tolerancias. El procedimiento de patronado es como sigue:

- Tomar una pieza inicial y de acuerdo a la medida y tolerancia estipulada por el departamento de metrología, se rectifica hasta una medida aproximada.
- Utilizar el micrómetro tipo palmer y verificar la medida de un extremo y del centro de la pieza.
- Rectificar hasta obtener la medida dentro de la tolerancia.
- Poner la pieza en los micrómetros de caratula y fijar la medida de esta pieza.

De esta manera, el operario solo tendrá que revisar el margen de error en las piezas consecuentes.

Patronado de la pieza



Fuente: Los autores

Rectificar el lote hasta que sea necesario rectificar la piedra

A medida que se va trabajando la piedra rectificadora pierde capacidad de corte, esto se hace evidente cuando hay que pasar múltiples veces las piezas para

obtener la medida. Cuando esto suceda, el operario determina si es necesario rectificar la piedra.

Limpieza del activo al final de la jornada

La limpieza al final de la jornada consiste en retirar la viruta de la superficie de la máquina y de los depósitos donde esta se acumula. También, es necesario vaciar la cubeta donde se acumulan los residuos en el filtro imantando.

MANTENIMIENTO

PROCEDIMIENTO PARA LA LIMPIEZA DEL ACTIVO

El activo M017 requiere tres tipos de limpiezas programadas.

- En primer lugar, el operario se encarga de la limpieza diaria.
- En segundo lugar, se realiza una limpieza profunda cada 15 días y es realizada por una persona distinta al operario.
- Por último, la empresa programa una limpieza anual para todos los activos de la planta, esta limpieza es igual a la descrita a continuación, pero como mucho más nivel de detalle.

El procedimiento para la limpieza del activo se muestra a continuación:

Desenergización de los motores

En primera lugar, se desenergiza los motores principales de la máquina, la bomba de refrigerante puede permanecer conectada para la evacuación del refrigerante del tanque.

Figura 77. Conectores principales del activo



Fuente: los autores

Desmante de los accesorios y mangueras de la unidad refrigerante

Para evacuar el refrigerante del tanque, se desacopla la manguera de la válvula distribuidora de la máquina.

Figura 78. Ubicación de la válvula de distribución



Fuente: los autores

Para el vaciado de los tanques de refrigerante:

- Retirar la viruta de la superficie con ayuda de un colador.

- Vaciar el líquido en un barril auxiliar con la ayuda de la bomba.
- Retirar los sedimentos del fondo del tanque usando una pala y una carretilla.
- Transportar el barril mediante la ayuda del montacargas manual.

Figura 79. Procedimiento para la limpieza de los tanques



Fuente: los autores

Desmonte de la unidad de refrigerante

Para lavar la unidad de refrigerante se deben desenergizar todos los motores conectados, la bomba y el filtro imantador, estos se llevan con el montacarga a la zona de limpieza. El cargue y descargue de los elementos se debe hacer entre dos personas y con mucho cuidado para no dañarlos.

Figura 80. Procedimiento para la ubicación de los elementos en la zona de limpieza



Fuente: Los autores

Retiro y lavado de las guardas de las ruedas

Se despeja el área alrededor de la máquina, retirando la mesa auxiliar y la plataforma de trabajo. A continuación, se retiran las tres guardas frontales de las ruedas y la rejilla de protección.

Figura 81. Procedimiento para el retiro y lavado de las guardas



Fuente: Los autores

Retiro de la reglilla

Con una llave de copa 15/16 de pulgada se desajustan 2 tornillos que sujetan la reglilla a la bancada de la máquina. Luego se doblan las guías de la reglilla para retirarla. Esta reglilla se debe limpiar y luego lubricar.

Figura 82. Procedimiento para el retiro de la reglilla



Fuente: Los autores

Limpieza del sedimento

Se remueve el sedimento de la máquina con una espátula, se debe prestar atención a los espacios debajo de las ruedas, donde se ubica la reglilla, la bancada y la parte frontal de las ruedas rectificadora y reguladora, los remanentes se retiran posteriormente con la pistola a presión y la mezcla de agua-varsol.

Figura 83. Procedimiento para retirar los sedimentos



Fuente: Los autores

Lavado de las partes, aplicación del detergente y enjuague.

Para el lavado de la máquina:

Preparar una mezcla de Agua-Varsol.

- Aplicar usando la pistola de presión.
- Cambiar el líquido por una mezcla de agua y detergente anti engrasante.
- Dejar unos minutos para que el líquido anti engrasante actúe.
- (Opcional) Usar un aflojador de partes para los lugares donde los sedimentos se hayan incrustado fuertemente.
- Aplicar de nuevo la mezcla agua-varsol para retirar el desengrasante.

- Lavar los tanques, la bomba, la unidad imantadora y las guardas de las ruedas, de la misma forma descrita en el paso anterior.

Figura 84. Procedimiento y herramientas para aplicar los líquidos para el lavado



Fuente: Los autores

Montaje de los tanques y las guardas.

La forma de restablecer el orden de las piezas es como se lista a continuación:

- Reglilla
- Guardas de las ruedas.
- Tanques y las partes del sistema de refrigeración (bomba, mangueras y filtro imantado).
- Mesa y plataforma de trabajo.
- Llenar los tanques con refrigerante.
- Colocar los ductos.

Figura 85. Partes del activo en su lugar



Fuente: Los autores

MONTAJE Y BALANCEO DE LAS PIEDRAS

La capacidad productiva de la máquina depende en gran parte del montaje y balanceo de las piedras. Un montaje incorrecto, trae consigo desalineaciones y desbalanceos, los cuales, producen vibración.

Las consecuencias de la vibración van desde cambios en el torque, fatiga de material, rápido desgaste de la herramienta, errores del maquinado, hasta, cambios en la potencia de entrada y salida. Una correcta instalación de las piedras, ayuda a reducir la vibración en sus proporciones aceptables.

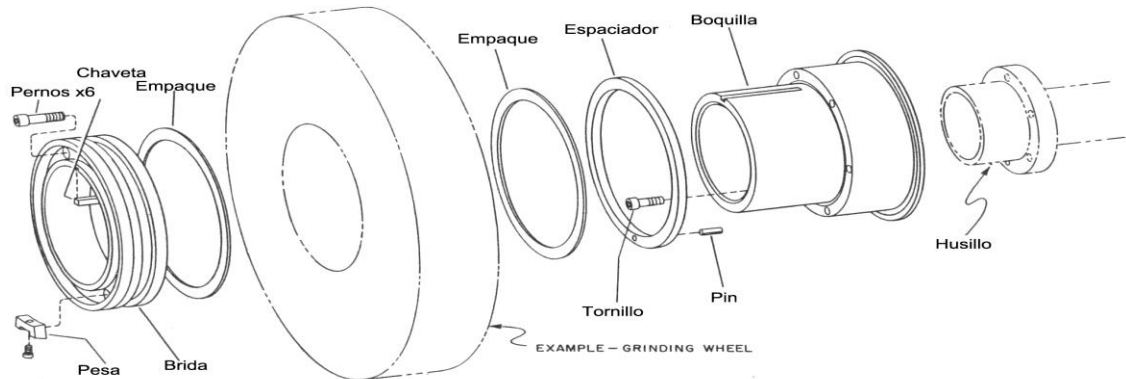
Otra precaución que se debe tener en cuenta, es que la velocidad de la piedra debe ser la correcta (aprox. 1040 RPM). El no mantener este valor constante ocasiona que la piedra se desgaste más de lo normal con su correspondiente pérdida de tiempo y producción.

Al final de la jornada, antes de parar la máquina, es recomendable apagar el sistema de refrigeración y permitir a la piedra girar por algunos minutos para sacar el refrigerante. Esto puede prevenir que la piedra quede empapada de un lado y consecuentemente desbalanceada.

Montaje de la piedra rectificadora

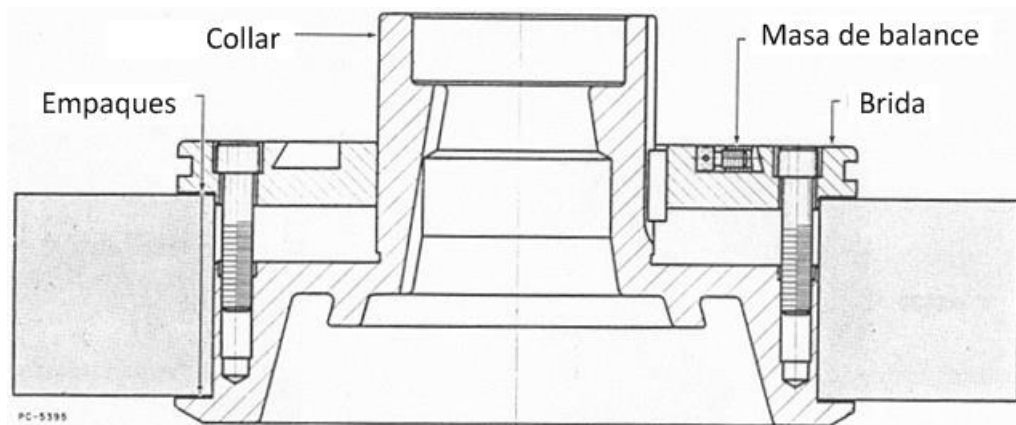
A continuación se muestran las partes que constituyen el husillo de la piedra rectificadora, la vista en sección de la montura y en los numerales siguientes se describe el procedimiento de montaje y balanceo.

Vista en explosión del husillo de la piedra rectificadora



Fuente: Catalogo de partes

Figura 86. Vista en sección de la montura de la piedra



Fuente: Catalogo de partes

Retiro de las guardas y accesorios

Con el objetivo de facilitar el retiro de la piedra desgastada, se debe despejar la zona de trabajo como sigue:

- Retirar los pernos, retirar las guardas y enviarlas a limpieza.
- Retirar la punta de diamante y porta diamante, usando una llave tipo Allen. Llevar estas partes a limpieza.
- Retirar los accesorios del sistema de refrigerante. Éstos son, la boquilla de refrigerante, los tubos de transporte, y válvulas. No es necesario desacoplar todo el sistema.
- Colocar los accesorios en un lugar donde no obstaculicen el tránsito y enviarlos a limpieza.

Figura 87. Desmontaje de las guardas y accesorios



Fuente: los autores

Apertura de la piedra reguladora y la reglilla

El carro inferior de la bancada se puede desplazar completamente hacia un lado, sin necesidad de desconfigurar la reglilla o la piedra reguladora.

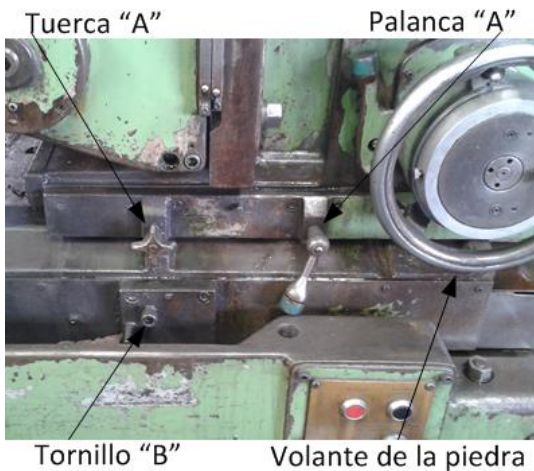
Figura 88. Apertura del carro inferior



Fuente: los autores

El conjunto de piedra y reglilla están soportados sobre el carro superior de la bancada. El mando del carro se realiza con el mismo volante de la piedra reguladora, pero para poderlo hacer se deben aflojar la tuerca “A” y la palanca “A”, seguido se debe apretar el tornillo “B”. Para restablecer la función del volante nuevamente se hace el procedimiento a la inversa.

Accesorios para mover el carro superior de la piedra reguladora



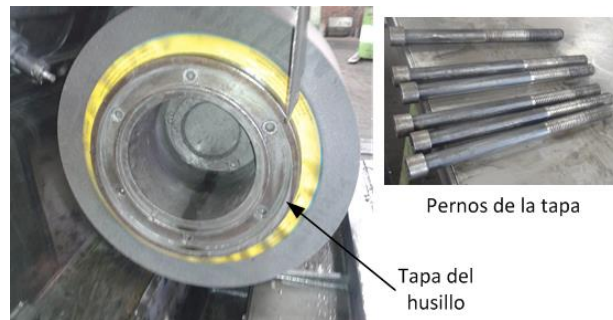
Fuente: los autores

Retiro de la brida del husillo de la piedra rectificadora

La figura a continuación muestra la brida que mantiene firme la piedra rectificadora. Para retirarla se deben seguir los siguientes pasos:

- Retirar los seis pernos que sujetan la brida utilizando una llave tipo Allen. Llevar los pernos a limpieza.
- Retirar la brida utilizando una espátula y el mazo de goma, se debe tener la precaución de no golpear fuertemente la brida, para evitar aboyarla.
- Aplicar en zonas con exceso de sedimentos un antioxidante químico para retirar la oxidación. El líquido usado es una mezcla de agentes aflojadores, penetrantes, solventes e inhibidores de corrosión.
- La brida debe limpiarse con una mezcla de varsol y agua.

Figura 89. Tapa del husillo de la piedra rectificadora



Fuente: los autores

Figura 90. Procedimiento para remover la brida de sujeción de la piedra rectificadora



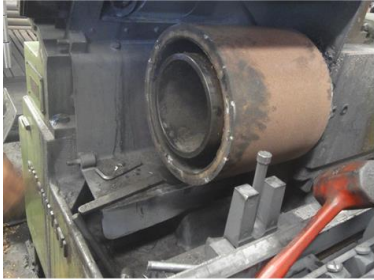
Fuente: Los autores

Retiro de la piedra rectificadora

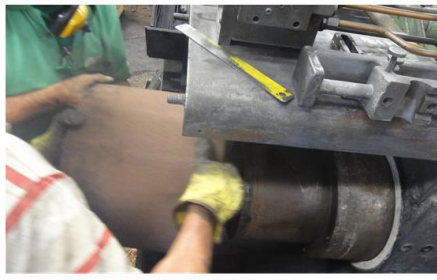
Una vez se han retirado los pernos y la brida de sujeción, la piedra debe salir fácilmente de la montura. Ésta debe colocarse en un lugar donde no obstaculice el tránsito y posteriormente se lleva a su disposición final (desecho).

La piedra nueva tiene un diámetro de 24 in, su retiro se realiza cuando se haya reducido a 16 in, es decir, cuando se observe un espesor de 12 mm desde el borde la brida hasta el borde de la piedra.

Procedimiento para retirar la piedra rectificadora



Piedra sin la brida de sujeción



Retirando la piedra



Montura de la piedra y husillo

Fuente: Los autores

Limpieza general

El objetivo de la limpieza es retirar de la montura todo tipo de sedimento, óxido y suciedad. Estas impurezas ocasionan en el husillo desbalanceos másicos que se traducen en problemas de vibración. Para la limpieza se utilizan palustres, papel lija, esponjas y una mezcla de agua varsol. El procedimiento se describe a continuación:

- Retirar el óxido y los sedimentos adheridos utilizando una espátula afilada. Raspar la superficie con fuerza en su interior y exterior.
- Prever de no raspar con fuerza la mirilla de acrílico, donde se pueden ver las esferas del balanceador hidráulico. Las ralladuras pueden obstaculizar la visión de este sistema.
- Lavar con una mezcla de agua varsol, el husillo donde los sedimentos sean difíciles de retirar y dejar actuar por unos minutos la mezcla.
- Pulir la superficie con dos tipos de lijas (suave y dura). Con la gruesa, se retira el sedimento y con la suave se mejora el acabado.

Es recomendable que por lo menos una vez cada año se retire la montura de la piedra para limpiar la suciedad fuera de las muescas en la parte trasera del collar.

Si no se realiza, el refrigerante y la suciedad pueden contaminar el lubricante de los rodamientos y así causar un daño eventualmente.

Procedimiento de limpieza de la montura de la piedra rectificadora



Lijando la superficie interior y exterior



Limpieza de la montura con agua y varsol



Mirilla del balanceador

Fuente: los autores

Alistamiento de la piedra nueva:

- Utilizar un montacarga manual para transportar la piedra nueva desde el almacén hasta el lugar de trabajo.
- Desempacar la piedra retirando las tablas de madera con un martillo y teniendo la precaución de remover las puntillas de las piedras para evitar accidentes.
- Transportar la piedra haciéndola rodar por el piso colocando cartones de protección en el camino para evitar daños en la superficie.

Desempaque y transporte de la piedra a la zona de trabajo



Desempaque de la piedra



Retiro de las puntillas



Levando la piedra frente a la máquina



Fuente: los autores

Alistamiento del husillo

La montura se debe engrasar por completo y de manera uniforme. Sin embargo, el borde se debe limpiar para que el empaque a colocar tenga adherencia y funcione correctamente. El empaque es de un material similar al cartón y es proporcionado por el fabricante de la piedra (Norton Saint-Gobain Brasil), su objetivo es distribuir uniformemente la presión de sujeción.

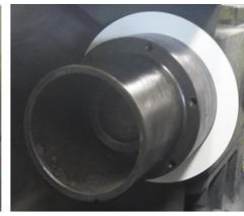
Alistamiento del husillo



Engrasar la montura



Limpiar el borde



Situar empaque

Fuente: los autores

Montaje de la piedra

Para montar la piedra se debe hacer un alistamiento previo para crear un apoyo en la bancada:

- Acomodar troncos y tablas sobre la bancada hasta que se tenga una separación aproximada al espesor de la piedra, entre el husillo y la última tabla.
- Engrasar las dos últimas tablas y júntelas por la parte engrasada. Estas sirven de apoyo para la piedra y la grasa ayuda a su posterior retiro.

Acomodando los apoyos para la piedra



Acomodando las tablas



Verificando la separación



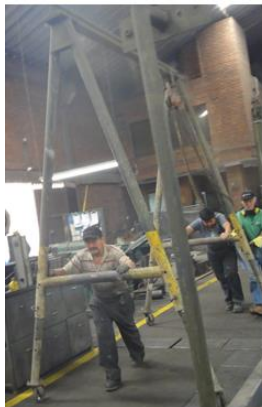
Engrasando la última tabla

Fuente: Los autores

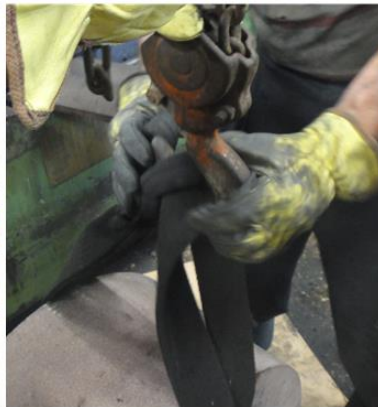
La piedra tiene un peso aproximado de 414 kg, por este motivo es necesario el trabajo de 3 operarios. Así como, un polipasto y un puente-grúa.

- Ubicar el puente grúa encima de la máquina.
- Desplazar el gancho del polipasto hasta la piedra.
- Utilizar una correa de tejido para sujetar la piedra a través del hueco.
- Sujetar con el gancho los extremos de la correa y asegurar de que este firme.

Levantamiento de la piedra



Ubicación del puente grúa



Sujeción de la piedra



Levantamiento de la piedra

Fuente: los autores

- Operario 1: Subir con cuidado la piedra.
- Operario 2: Encajar la piedra en el husillo.
- Operario 3: Sujetar la tabla engrasada que sirve de apoyo.
- Ubicar la piedra en el husillo procurando que quede bien montada y retirar la tabla engrasada.
- Colocar la brida con su respectivo empaque y los pernos.

- Ajustar los pernos primero en cruz uniformemente y luego en círculo, aplicar al final una fuerza de 30 lbf por cada tornillo.

Procedimiento para acomodar la piedra en la montura



Operarios subiendo y acomodando la piedra



Operarios frontales acomodan la piedra. Operario trasero sujeta y retira la tabla.



Piedra acomodada en la montura

Fuente: los autores

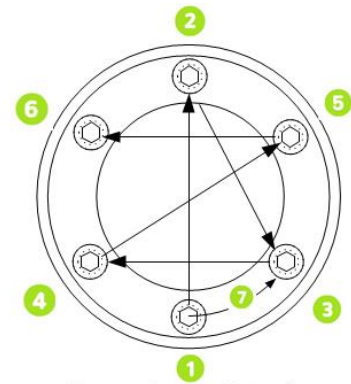
Procedimiento para ajustar la brida



Colocando el empaque frontal



Ajustando los pernos



Secuencia para ajustar los pernos

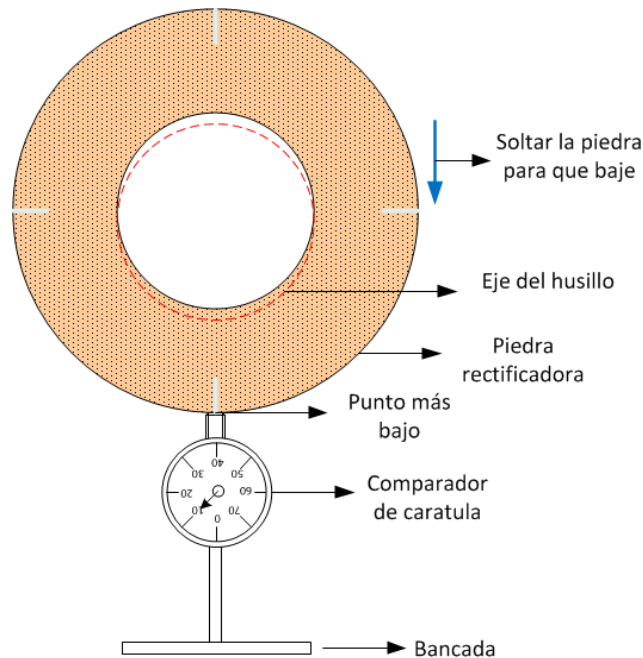
Fuente: los autores

Procedimiento de centrado

El centrado de la piedra se verifica con la ayuda de un separador de caratula que mide la desviación de la piedra respecto al centro. El procedimiento de centrado se describe a continuación:

- Colocar el separador de caratula entre la bancada y la piedra.
- Observar la medida que se muestra, marcar con una tiza el valor y la posición.
- Girar manualmente a la piedra hasta la posición contraria del valor marcado y registrar el dato con una tiza en la superficie. Hacer lo mismo con las posiciones horizontales.
- Buscar el punto con el valor más bajo, ya que este es el más desfasado hacía arriba del centro. La meta final es hacer que todos los puntos marquen el mismo valor y que sean próximos a cero en un rango de 0 a 15 cm.
- Ubicar la piedra en el punto más bajo sobre el medidor de caratula.
- Soltar los pernos poco a poco hasta que el comparador muestre el valor que se parezca al de los demás puntos.

Esquema de un descentrado



Procedimiento de centrado de la piedra



Ubicación del comparador de caratula



Ubicación del punto más bajo



Aflojando la piedra hasta el valor adecuado

Fuente: Los autores

Procedimiento de balanceo

El activo tiene incorporado un sistema hidráulico de balanceo automático que consiste en hacer rodar unas esferas metálicas en el husillo y reacomodarlas con un sistema hidráulico para compensar el desbalanceo másico del rotor. Para balancear la piedra se deben seguir los siguientes pasos:

- Encender la máquina, con la precaución de mantener la llave del refrigerante cerrado.
- Accionar el control del sistema de balanceo.
- Pulsar los dos botones al mismo tiempo. El botón superior enclava/desenclava las esferas y el botón inferior enclava/desenclava el mandril completo.
- Observar el indicador que se pone en funcionamiento. Las esferas cambian de posición en respuesta de las fuerzas que ejerce el eje. Cuando el

indicador se estabilice se suelta el botón superior el cual enclava las esferas en la posición en que se acomodaron.

- Observar el indicador para verificar si el balanceo se realizó correctamente, esto sucede cuando la aguja marca 0 en la caratula.
- Soltar el botón inferior el cual enclava el mecanismo completo al husillo.

Sistema de balanceo de la piedra rectificadora



Esferas a través del visor acrílico



Indicador de balanceo



Mando del balanceador

Botón para enclavar/
desenclavar las esferas

Botón para enclavar/
desenclavar el sistema
completo

Fuente: los autores

Es necesario entender que muchas de las piedras son inspeccionadas desde fábrica para que presenten un apropiado balance. Sin embargo, este balanceo no es estrictamente perfecto.

Montaje de la piedra reguladora

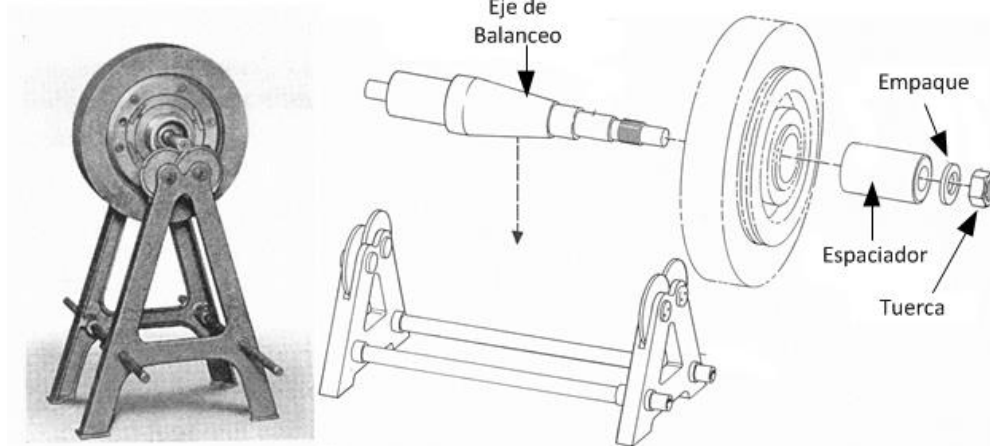
El procedimiento de montaje de esta piedra es igual al descrito anteriormente. Salvo por el balanceo ya que la piedra reguladora no cuenta con un sistema automático para dicha labor.

Balanceo de la piedra reguladora:

- Desensamblar la piedra de la misma forma descrita en la sección.
- Retirar la montura completa del husillo de la máquina e insertar el eje de balanceo en la montura.

- Colocar la unidad entera en el husillo de balanceo

Husillo para el balanceo

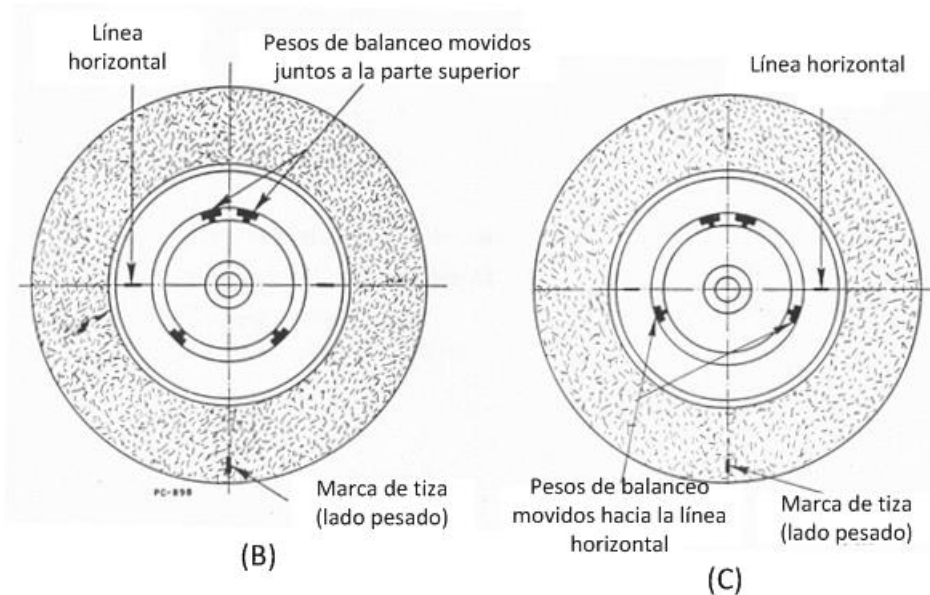


Husillo para el balanceo (A)

Fuente: Catalogo de partes y manual del operario

- Retirar las cuatro masas de balanceo de la brida y permitir que la piedra ruede hasta que esta haya reposado con la parte pesada hacia abajo.
- Marcar el punto pesado con una tiza y también marcar la línea horizontal a través del eje de la piedra.
- Colocar las cuatro masas en la muesca de la brida, separadas en intervalos de 90°. La adición de peso en esta posición no debería alterar la posición del lado pesado.
- Mueva las dos masas superiores cada una hacia la otra, hasta llegar a condiciones de perfecto balance.
- Si al hacer el movimiento anterior la piedra continua desbalanceada, es necesario mover las dos masas inferiores hacia la marca horizontal hasta que la piedra quede balanceada.

Procedimiento de balanceo manual



Fuente: manual del operario

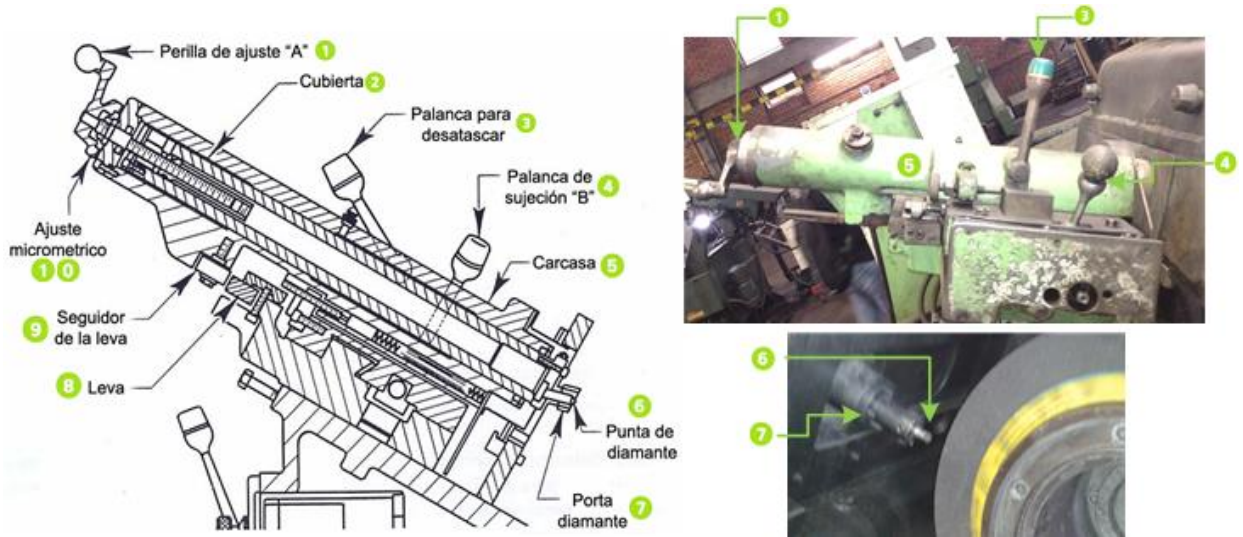
- Girar la piedra en varias posiciones para ver si la condición de desbalanceo se desplazó a otro punto o fue corregida. En caso de que no se haya corregido, marque el nuevo punto más pesado y reajuste las masas como corresponde hasta lograr el equilibrio.
- Remover el eje de balanceo, colocar la montura de la piedra en el husillo y rectifique la piedra.

RECTIFICADO DE LAS PIEDRAS (RECTIFICADORA Y REGULADORA)

Características de la unidad diamantadora

Las figuras a continuación muestran las vistas en sección transversal de las unidades diamantadoras de las piedras rectificadoras y reguladoras respectivamente. Posteriormente, se hace una breve descripción de las partes que las constituyen.

Vista en sección de la unidad rectificadora-diamantadora



Fuente: Los autores

Vista en corte de la unidad diamantadora de la piedra reguladora.



Fuente: los autores

La herramienta de corte más comúnmente utilizada es la punta de diamante, ésta tiene un peso entre 1 y 2 quilates y un diámetro de 7/16 in.

La punta es montada en un porta-diamantes, el cual está sujeto al eje del ajuste micrométrico "A" por medio de un manguito. Cada línea en el ajuste equivale a una micra de pulgada (0.001 in).

La cubierta del eje micrométrico, ubicada dentro de la carcasa, está sujeta por medio de la palanca "B". Al momento de realizar el perfilado esta palanca se debe aflojar.

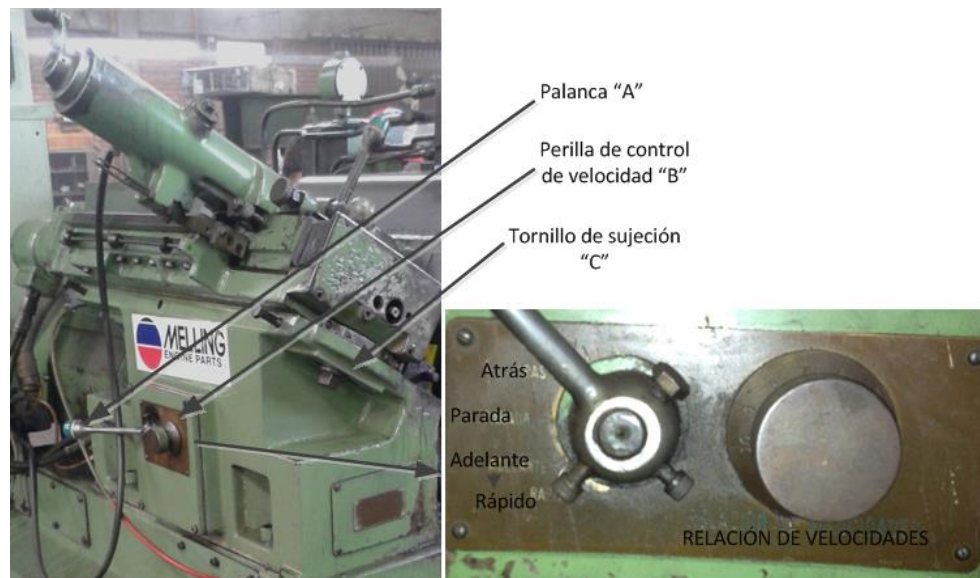
Generalmente, la piedra rectificadora no requiere un perfil especial y ésta permanece recta en todas las operaciones. Sin embargo, la piedra reguladora si requiere un redondeo en sus bordes cuando se trabajan productos de la línea lisa.

Para realizar un perfilado recto, se debe bloquear la cubierta en una posición fija por medio de la palanca "B".

Características del control de movimiento de la unidad diamantadora

El sistema diamantador utiliza un motor hidráulico para controlar el movimiento transversal del diamante a lo largo de la piedra. La ventaja del uso del motor es que provee un movimiento suave y controlado.

Unidad rectificadora-diamantadora de la piedra rectificadora



Fuente: Los autores

El sistema hidráulico es operado de la siguiente manera:

- La palanca "A" controla la dirección del movimiento de la unidad diamantadora, ésta posee cuatro posiciones: atrás, parada, adelante y rápido.

- La posición “adelante”, mueve la unidad diamantadora en dirección opuesta al trabajador, si se acciona la palanca hasta la posición “rápido”, la unidad aumentará la velocidad en la misma dirección. De igual manera sucede con la posición “atrás”.
- Para frenar la unidad basta con colocar la palanca en la posición de “parada”. Este estado permite ubicar la unidad en cualquier punto de su carrera.

Procedimiento para rectificar la piedra rectificadora

Posicionar la punta del diamante:

Con la perilla de ajuste “A”, se desplaza la punta a aproximadamente la mitad de su carrera. Se debe observar constantemente la punta para asegurarse de que no golpeará la piedra.

Correcta aproximación de la punta de diamante a la piedra rectificadora



Fuentes: Los autores

Aproximar la punta hasta la piedra:

Se lleva la punta hasta la superficie de la piedra. La profundidad de corte no debe sobrepasar una línea por pasada.

Realizar el procedimiento de encendido de la máquina.

Preparar la unidad diamantadora:

Antes de accionar el motor hidráulico, se debe abrir la válvula de refrigerante y soltar la palanca de sujeción.

Preparación de la unidad diamantadora de la rectificadora



Fuente: los autores

Comenzar el rectificado:

Para poner en movimiento el diamante, se debe manipular el control de movimiento en la palanca "A" en modo adelante. Se deben realizar dos pasadas adelante-atrás, sin exceder más de una línea de profundidad por pasada. La primera pasada se hace a velocidad lenta para generar desbaste, la segunda se hace a velocidad rápida para generar un buen acabado superficial.

Finalización del rectificado:

Una vez la piedra haya adquirido el acabado deseado, se debe posicionar la unidad en la parte frontal de la máquina y se debe cerrar la válvula del

refrigerante. Se reconoce que el diamantado ha concluido después de dos pasadas adelante-atrás, la primera a velocidad lenta para desbaste y la segunda a velocidad rápida para acabado superficial.

Limpieza superficial

Al final del rectificado se debe limpiar la zona de trabajo de manera superficial usando la pistola a presión con refrigerante.

Algunas recomendaciones para el diamantado se listan a continuación:

- Mantener constante el flujo de refrigerante en la unidad diamantadora.
- Inspeccionar con frecuencia la punta de diamante para verificar su estado.
- No exceder más de una línea la profundidad de corte por pasada.

Procedimiento para diamantar la piedra reguladora

Las características de la unidad diamantadora y el control de movimiento de la piedra reguladora son idénticos a los de la piedra rectificadora. Sin embargo, dado que el activo trabaja con dos tipos diferentes de materiales (cilindros lisos y con ceja), la piedra reguladora debe tener dos perfiles de acuerdo al producto.

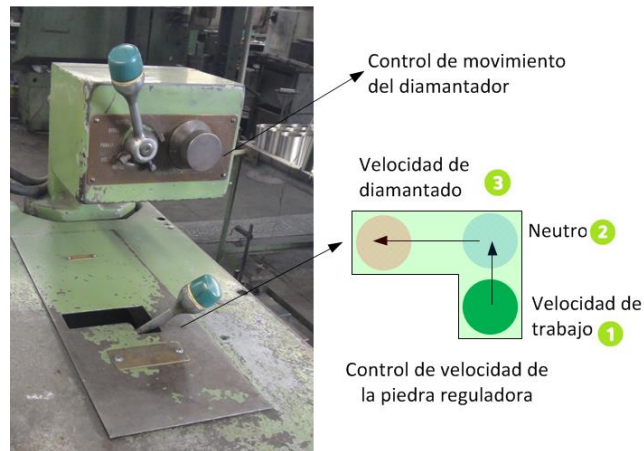
El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Posicionar la punta del diamante.
- Aproximar la punta hasta la piedra.
- Realizar el procedimiento de encendido de la máquina.

Una vez energizada la máquina, la piedra reguladora se pone en marcha usando la palanca de mando. Para realizar el diamantado de la piedra, ésta debe ponerse en la posición 3, donde la piedra adquiere su máxima velocidad (aproximadamente

300 RPM). La posición 1 se usa durante el trabajo y el neutro si se desea detener la piedra.

Control de movimiento de la piedra reguladora



Fuente: los autores

Comenzar el rectificando:

La puesta en marcha de sistema diamantador de la reguladora es igual que el sistema diamantador de la rectificadora.

Realizar el perfilado:

Finalización del rectificando:

Una vez la piedra se haya perfilado y haya adquirido el acabado deseado, se debe posicionar la unidad en la parte frontal de la máquina y se debe cerrar la válvula del refrigerante.

Se reconoce que el diamantado ha concluido después de dos pasadas adelante-atrás, la primera a velocidad baja para desbaste y la segunda a velocidad rápida para acabado superficial.

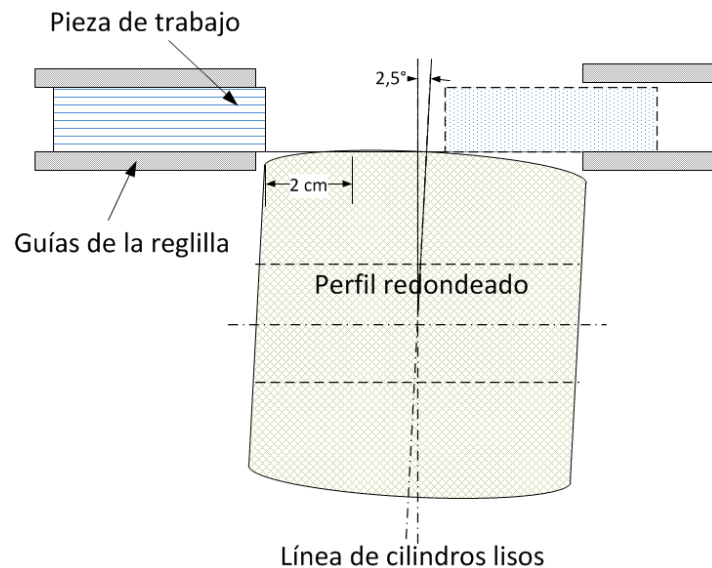
Limpieza superficial.

Al final del rectificado se debe limpiar la zona de trabajo de manera superficial usando la pistola a presión con refrigerante.

Perfilado de la piedra reguladora para el trabajo de cilindros lisos

El trabajo con cilindros lisos requiere que éstos ingresen a las piedras de manera suave, por esta razón, la piedra debe llevar un redondeo en los bordes (Figura 56), además de su respectiva inclinación para el movimiento.

Perfilado de la piedra reguladora para piezas lisas



Fuente: los autores

Para realizar este rectificado se procede como sigue:

- **Realizar la nivelación:** Para eliminar la superficie de la piedra desgastada se realizan dos pasadas adelante-atrás a una línea de profundidad por cada pasada. La velocidad del diamantador puede ser lenta para generar desbaste.

Desbaste de nivelación para realizar el perfilado



Fuente: los autores

- **Perfilado frontal:** Se procede a realizar el perfilado por partes, primero en la zona frontal y después en la trasera. En primer lugar, para el perfilado frontal, se pone en movimiento el diamantador y cuando se encuentre aproximadamente a 1 pulgada de distancia desde el borde de la piedra (esta distancia de estima a simple vista), se gira gradualmente la perilla de ajuste "C" una vuelta completa, para dar un corte suave, el cual será el perfil que se desea.

Distancia a la cual se realiza el perfilado de la reguladora



Fuente: los autores

- **Nivelación frontal:** Ya que el paso anterior hace que la transición entre la superficie normal de la piedra y el bordeado sea muy brusca, se debe retornar la punta de diamante a la profundidad original, ósea, una vuelta completa de la perilla en sentido contrario. A continuación, se devuelve la unidad diamantadora y se hace un desbastado lento sin modificar profundidad.
- **Perfilado y nivelación trasera:** De igual forma a como se explicó en los pasos posteriores se hace en la parte trasera de la piedra.
- **Rectificado de la zona intermedia:** Con el fin de mejorar el acabado superficial de la piedra, se hace un rectificado superficial a velocidad rápida.

Se comprueba que el perfilado ha sido realizado, si al colocar una llave tipo Allen apoyada paralelamente sobre la piedra, se observa un espacio equivalente al redondeo.

Perfiles de la piedra reguladora realizados

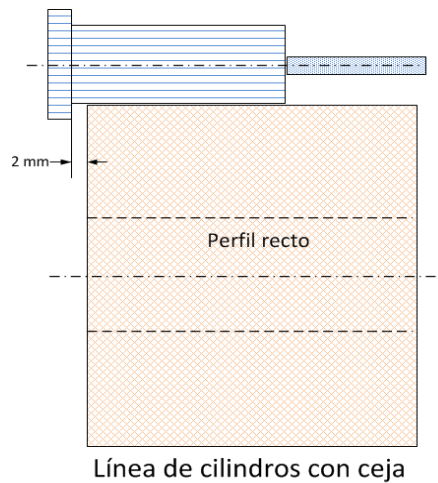


Fuente: los autores

Perfilado de la piedra reguladora para el trabajo de cilindros con cejas

Para el trabajo de piezas con cejas, el perfil de la piedra reguladora debe ser recto, por lo tanto el diamantado requiere de una profundidad constante. Si anteriormente la piedra posee el perfil usado en la línea de cilindros lisos, este se debe eliminar haciendo pasar el diamante tantas veces como sea necesario.

Perfilado de la piedra reguladora para piezas lisas



Fuente: los autores

MONTAJE Y AJUSTE DE LA REGLILLA DE TRABAJO

El activo M017 utiliza dos tipos de reglilla, para trabajar dos tipos de productos (lisa y ceja). A continuación, se describe el procedimiento de montaje y ajuste para los dos tipos de reglilla mencionados.

Montaje de la reglilla para cilindros lisos

Retiro de la reglilla anterior (cilindros con ceja)

Para realizar el desmonte se deben aflojar los tornillos que mantienen la reglilla fija a la bancada. Adicionalmente, el desmonte debe hacerse con la ayuda de un auxiliar. Ésta reglilla, debe limpiarse y ubicarse en un lugar donde no interfiera con las demás labores.

Desmonte de la reglilla para piezas con ceja

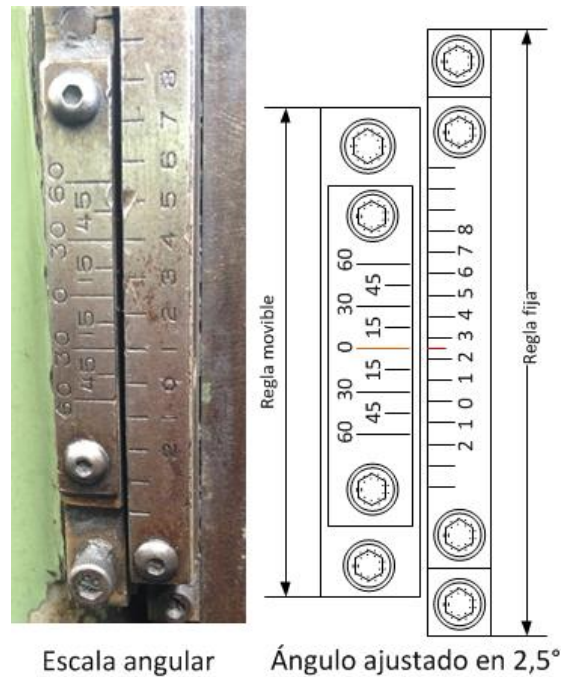


Fuente: los autores

Configuración del ángulo de inclinación de la piedra reguladora (lisos)

La piedra reguladora requiere un ángulo de inclinación horizontal para provocar el movimiento de la pieza cuando se trabajan piezas lisas. Este ángulo es aproximadamente 2.5° . El valor mencionado es conservativo y cualquier incremento de éste, produce un aumento en la velocidad de avance de la pieza y viceversa.

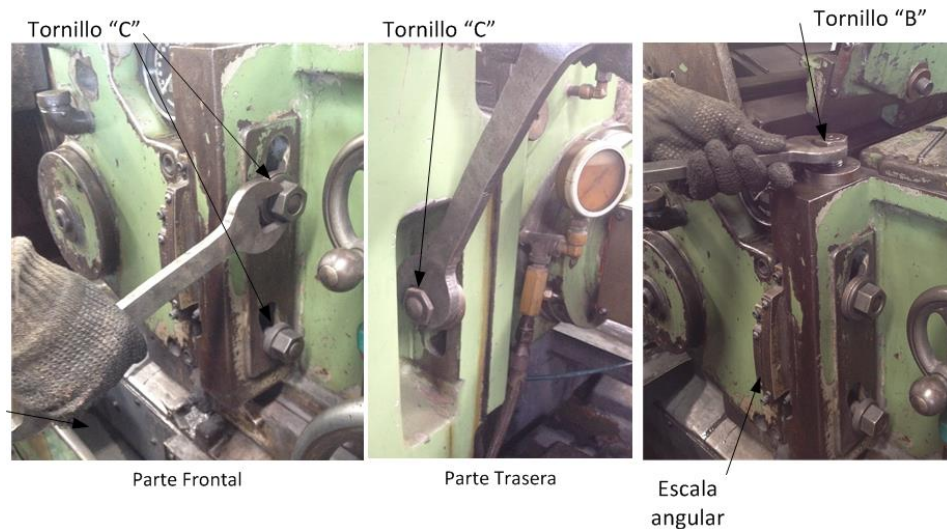
Ajuste de la inclinación de la piedra reguladora para productos lisos



Fuente: Los autores

Para configurar el ángulo de inclinación horizontal de la piedra reguladora, se deben aflojar los tornillos “C”, ubicados en la parte frontal y trasera de la máquina. El tornillo “B” localizado en la parte superior, es usado para realizar el ajuste angular. Una vez el ángulo haya sido configurado, se deben apretar los tornillos “C” nuevamente, de forma intercalada y de a una vuelta por vez.

Tornillos de ajuste para la inclinación horizontal de la piedra reguladora (lisos)



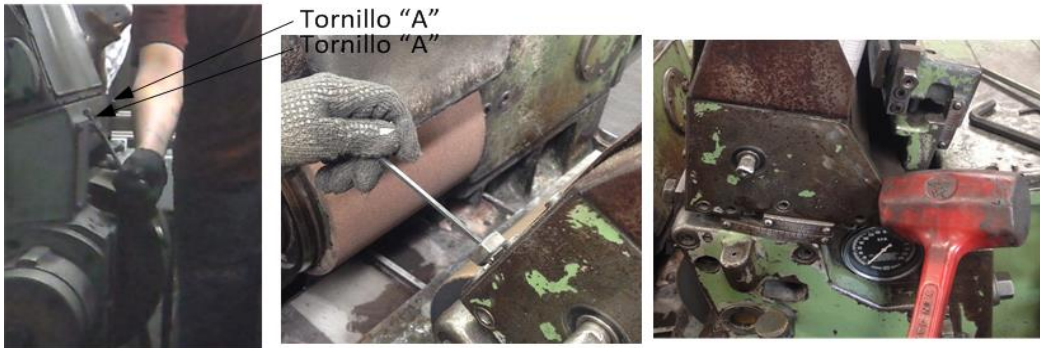
Fuente: Los autores

Configuración del ángulo de inclinación de la unidad diamantadora (lisos)

El ángulo de inclinación horizontal de la unidad diamantadora debe ser el mismo que el de la piedra reguladora ($2,5^\circ$ para trabajo con cilindros lisos), para mantener una línea de contacto recta entre el diamante y la superficie de la piedra.

Para modificar dicho ángulo, se desajustan los tornillos "A" usando una llave de boca y una tipo Allen. Después, utilizando un mazo de goma, se golpea el carro del diamantador hasta obtener el ángulo deseado. Una vez el ángulo haya sido configurado, los tornillos "A" deben ajustarse nuevamente.

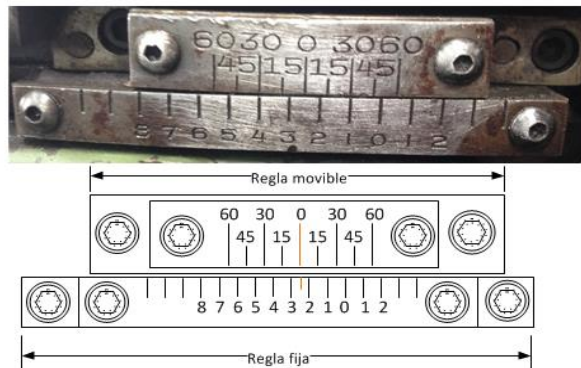
Procedimiento para ajustar la inclinación de la unidad diamantadora (lisa)



Aflojar con la llave de copa

Aflojar con la llave tipo Allen

Golpear con el maso de goma



Fuente: los autores

Configuración del porta-diamantes(lisos)

La configuración del diamante consiste en el desmonte de la punta desgastada y su cambio por una nueva. Intuitivamente, el desgaste se evidencia en el acabado superficial de la pieza, es decir, cuando la pieza es muy rugosa aparecen rayaduras en la pieza de trabajo. Para realizar el cambio de la punta, se debe aflojar el tornillo "D" hasta liberar la punta desgastada, inversamente, se reemplaza la punta nueva asegurándose de ajustar muy bien el tornillo.

Procedimiento para configurar el porta-diamantes



Fuente: los autores

Encendido de la máquina.

Diamantar la piedra reguladora (lisos)

El trabajo con cilindros lisos demanda en la piedra reguladora un perfil redondeado en los bordes de la piedra para el ingreso suave de la pieza de trabajo.

Diamantar la piedra rectificadora (lisos)

Limpieza superficial

Una vez culminado el rectificado de las piedras, se debe limpiar superficialmente el polvo generado por las piedras, usando la pistola de aire comprimido, se esparce refrigerante en la bancada, las piedras y por debajo de las mismas.

Montaje y configuración de la reglilla para cilindros lisos

El montaje de esta reglilla se debe realizar con la ayuda de un auxiliar, se debe ubicar la reglilla en la bancada y sujetarla mediante los pernos mencionados anteriormente al principio de este numeral.

Montaje de la reglilla para cilindros con ceja.

Desmonte de la reglilla anterior (cilindros lisos)

Para realizar el desmonte se deben aflojar los tornillos que mantienen la reglilla fija a la bancada.

La reglilla para cilindros lisos posee unas guías, las cuales se deben contraer para facilitar su desmonte. Adicionalmente, el desmonte debe hacerse con la ayuda de un auxiliar. Ésta reglilla, debe limpiarse y ubicarse en un lugar donde no interfiera con las demás labores.

Desmonte de la reglilla para piezas lisas

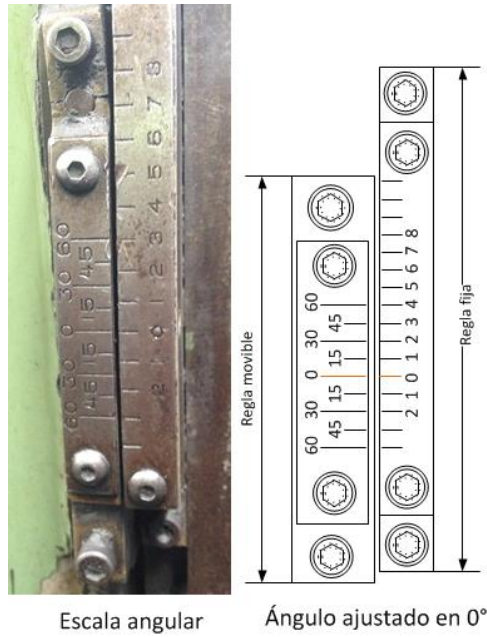


Fuente: Los autores

Configuración del ángulo de inclinación de la piedra reguladora (ceja)

La piedra reguladora requiere un ángulo de inclinación horizontal para provocar el movimiento de la pieza. Sin embargo, cuando se trabajan piezas con ceja, dado que estas permanecen en su sitio, el ángulo no se hace necesario y por lo tanto es prácticamente nulo, no se recomienda exceder $\frac{1}{4}$ de grado.

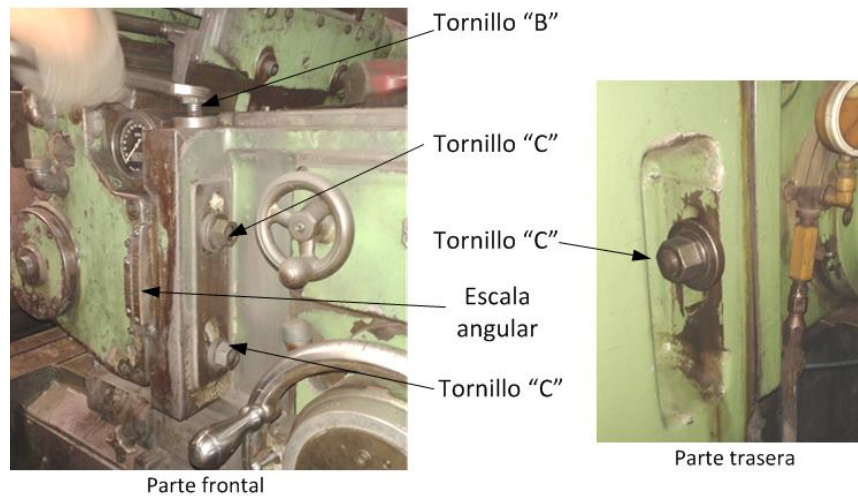
Ajuste de la inclinación de la piedra reguladora para productos con ceja



Fuente: Los autores

Para configurar el ángulo de inclinación horizontal de la piedra reguladora, se deben aflojar los tornillos “C”, ubicados en la parte frontal y trasera de la máquina. El tornillo “B” localizado en la parte superior, es usado para realizar el ajuste angular. Una vez el ángulo haya sido configurado, se deben ajustar los tornillos nuevamente.

Tornillos de ajuste para la inclinación horizontal de la piedra reguladora (ceja)



Fuente: los autores

Configuración del ángulo de inclinación de la unidad diamantadora (ceja)

El ángulo de inclinación horizontal de la unidad diamantadora debe ser el mismo que el de la piedra reguladora (0° para trabajo con ceja), para mantener una línea de contacto recta entre el diamante y la superficie de la piedra.

Para modificar dicho ángulo, se desajustan los tornillos "A" usando una llave de boca y una llave tipo Allen. Después, utilizando un mazo de goma se golpea el carro del diamantador hasta obtener el ángulo deseado. Una vez el ángulo haya sido cuadrado, los tornillos deben ajustarse nuevamente.

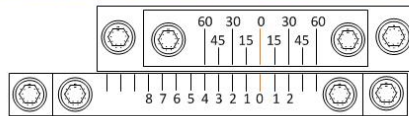
Procedimiento para ajustar la inclinación de la unidad diamantadora (ceja).



Aflojar con la llave de copa

Aflojar con la llave tipo Allen

Golpear con el maso de goma



Escala angular

Fuente: los autores

Configuración del porta-diamantes (ceja)

La configuración del diamante consiste en el desmonte de la punta desgastada y su cambio por una nueva. Intuitivamente, el desgaste se evidencia en el acabado superficial de la pieza, es decir, cuando la pieza es muy rugosa aparecen rayaduras en la pieza de trabajo. Para realizar el cambio de la punta, se debe aflojar el tornillo "D" hasta liberar la punta desgastada, inversamente, se reemplaza la punta nueva asegurándose de ajustar muy bien el tornillo.

Procedimiento para configurar el porta-diamantes



Fuente: los autores

Encendido de la máquina.

Diamantar la piedra reguladora (ceja)

Dado que para el trabajo con cilindros lisos es necesario un perfil redondeado en los bordes de la piedra, para el cambio del trabajo con cilindros con ceja, se debe eliminar dicho redondeo.

Diamantar la piedra rectificadora (ceja)

Limpieza superficial

Una vez culminado el rectificado de las piedras, se debe limpiar superficialmente el polvo generado por las piedras, usando la pistola de aire comprimido. Se esparce refrigerante en la bancada, las piedras y por debajo de las mismas.

Montaje y configuración de la reglilla para cilindros con ceja

El montaje de esta reglilla se debe realizar con la ayuda de un auxiliar, se debe ubicar la reglilla en la bancada y sujetarla mediante los pernos mencionados anteriormente al principio de este numeral.

LUBRICACION

La precisión del trabajo y el tiempo de vida del activo depende en gran parte de la apropiada lubricación, de ahí su importancia. Este capítulo muestra el funcionamiento del sistema de lubricación y las recomendaciones que se deben tener en cuenta para su mantenimiento.

Lubricación de los husillos de las piedras reguladora y rectificadora.

Los rodamientos de los husillos requieren ser lubricados durante la operación de manera constante, el sistema hidráulico de aceite es el encargado de realizar dicha tarea.

Una línea proveniente de la bomba pasa a través de un filtro tipo cartucho intercambiable para enviar aceite filtrado hacia ambos husillos (rectificadora y reguladora).

El sistema eléctrico incorpora un temporizador, el cual brinda el tiempo necesario para alcanzar la presión necesaria del aceite (1.2 Kg/cm^2). Una vez se cumple el tiempo, se permite la energización de los demás motores (Husillo, bomba de refrigerante y filtro imantado).

Si la presión cae por debajo de la de trabajo, debido a una obstrucción del filtro u otra anomalía, el aceite se devuelve al tanque por una línea en derivación y el motor de la rueda rectificadora se desenergiza automáticamente.

Por otro lado, el correcto flujo de aceite se obtiene con un sistema de calentamiento para disminuir la viscosidad del aceite al inicio de la jornada. Este sistema consiste en enviar poco flujo al principio y hacer que bajo la acción de los rodamientos se caliente hasta obtener 1 GPM para el husillo de la rectificadora y $\frac{1}{4}$ GPM para el de la reguladora.

Lubricación de las correderas, tornillos y engranajes.

El activo M017 posee una serie de mecanismos que ayudan al movimiento de la rueda reguladora, entre ellos están la corredera que une la estructura de la piedra con la bancada, los tornillos de avance y los engranajes de la caja de velocidades.

Estos mecanismos se pueden lubricar de una vez por el mismo botón de lubricación. Después de llenado el tanque, simplemente presionando el embolo una vez al día, todas las partes móviles mencionadas quedan lubricadas. Este sistema se encuentra deshabilitado en la actualidad.

Corredera inferior

La corredera inferior de la rueda reguladora, debe ser lubricada manualmente en los puntos mostrados. Se deben aplicar de 2 a 3 disparos en los 4 racores (frontales y traseros). La lubricación mensual será suficiente para este elemento.

Unidades rectificadoras-diamantadoras

Estas unidades deben lubricarse diariamente y en múltiples ocasiones, especialmente cuando las piedras requieren varios ajustes durante la semana.

Instrucciones de lubricación

Se deben lubricar todas las partes móviles del activo, los puntos de lubricación así como su frecuencia y tipo de lubricante, se muestran a continuación. Los intervalos calculados están basados en una jornada laboral de ocho horas al día.

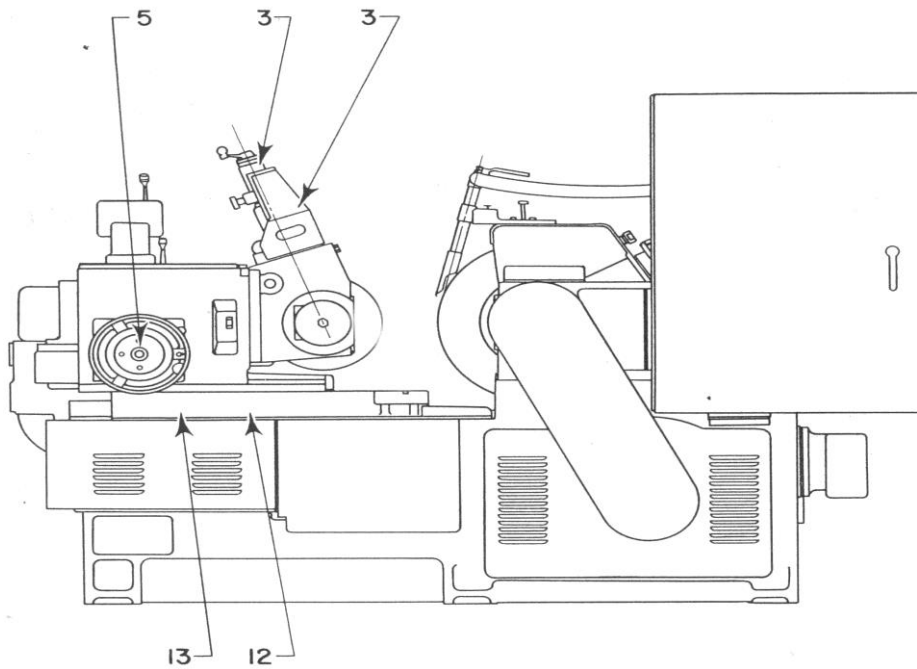
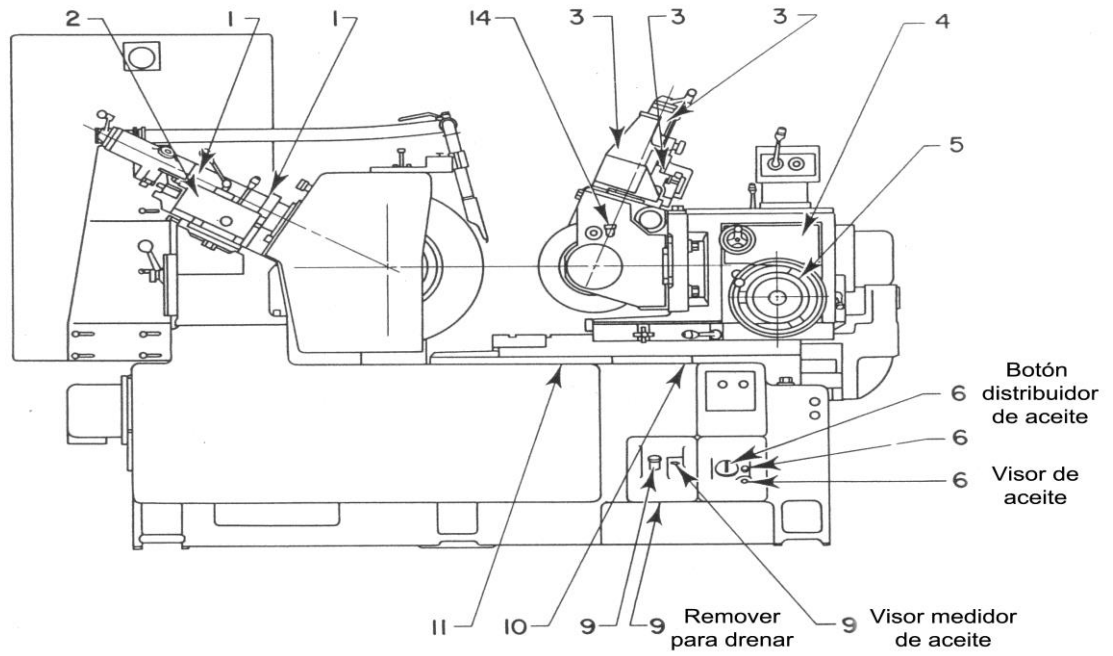
Instrucciones de lubricación

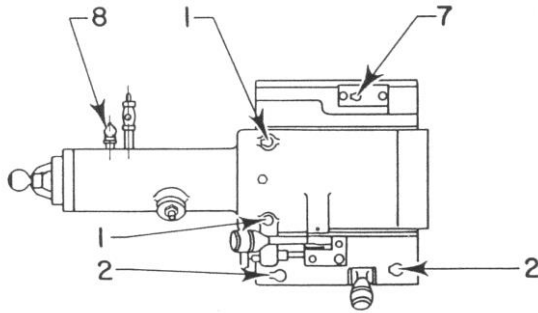
Frecuencia	Numeral	Instrucción	Partes lubricadas	Especificaciones
Diariamente	2 y 7	Aplique con la aceitera, unas pocas gotas.	Pistas de los rodamientos izquierdo y derecho para la unidad diamantadora de la piedra rectificadora.	Lubricante medio para guías deslizantes. Rango de viscosidad: 300 - 350 S.U.S. @ 100°F.
	1	Aplique con la aceitera, unas pocas gotas.	Rodamientos en el diamantador.	
	5	Botón de lubricante. Aplicar con la aceitera, unas pocas gotas.	Engranajes internos de la manivela para desplazar la rueda conductora.	
	8	Aplique con la aceitera, unas pocas gotas.	Diamantador.	
	3	Aplique con la aceitera, unas pocas gotas.	Guías frontales y traseras del carro del diamantador de la piedra reguladora, la varilla del diamante y la punta del diamante.	
Semanalmente	4	Engrase semanalmente.	Polea variable del motor de la piedra reguladora.	Grasa a base Litio. Rango de viscosidad: 500 - 750 S.U.S. @ 100°F.
Mensualmente	10, 11, 12 y 13	Aplique con la pistola de grasa manual, de 2 a 3 disparos.	Guías deslizantes inferiores.	
Revisión semanal	9	Mantener lleno* el tanque hasta la línea superior del visor. Llenar con la máquina funcionando.	Rodamientos de las piedras reguladora y rectificadora; diamantadoras; engranajes internos (todo los dispositivos hidráulicos)	Aceite de husillo de alta calidad. Rango de viscosidad: 100 - 110 S.U.S. @ 100°F.
	6	Presionar el botón de lubricación diariamente. Llenar hasta el visor.	Correderas, engranajes y tornillos de avance.	Aceite de husillo de alta calidad. Rango de viscosidad: 100 - 110 S.U.S. @ 100°F.

*Cantidades requeridas: No. 9 aprox. 26 Gal.; No. 6 aprox. 3 puntos.

Fuente: Manual de instrucciones Cincinnati

Diagramas de lubricación





Fuente: Manual de operación de la máquina

REFRIGERACION

El uso de un fluido de corte como refrigerante mejora notablemente la operación de rectificado. Éste debe cumplir ciertas funciones, las cuales se listan a continuación:

- **Lubricar:** Ayuda a reducir el coeficiente de fricción entre la piedra y la pieza de trabajo y entre la piedra y la viruta que se elimina.
- **Refrigerar:** El fluido elimina el exceso de calor producido por el mecanizado.
- **Limpiar:** El fluido ayuda a retirar eficientemente la viruta lejos de la zona de operación para no interferir en el proceso y permitir así la calidad superficial deseada.
- **Prevenir la corrosión:** El fluido acuoso puede oxidar la pieza, las partes de la máquina o tapan los poros de la piedra, para evitarlo se deben agregar agentes protectores de la corrosión.

Tipo de fluidos de corte recomendado

Los fluidos de corte son aplicados directamente en la zona de creación de viruta y pueden ser del tipo aceite, emulsión y solución. La gran mayoría tiene como base

un aceite mineral, vegetal o sintético, siendo el primero el más utilizado, pudiendo llevar varios aditivos tales como:

- Antiespumantes
- Aditivos extrema presión
- Antioxidantes
- Biocidas
- Solubilizadores
- Inhibidores de corrosión

Los tipos principales de fluidos de corte de mecanizado son:

- Aceite íntegros
- Emulsiones oleosas
- Soluciones “Semi-Sintéticas”
- Soluciones sintéticas

Los tres últimos mencionados son soluciones acuosas y reciben el nombre genérico de taladrinas. Sin embargo, se debe establecer exactamente qué tipo de taladrina y aditivos necesita el activo para desarrollar su función.

El refrigerante utilizado en el activo M017 se denomina CIMTECH 100. Éste es un fluido sintético para trabajo de metales extremadamente limpio. Es usado en procesos donde el control de espuma es crítico, como en la rectificación de metales como hierro colado, nodular, aceros al carbono y metales ferrosos.

El refrigerante es diluible en aguas duras o blandas sin alterar su desempeño. Tiene incorporado en su composición los siguientes aditivos:

- Antiespumante.
- Biocidas: control de la rancidez, hongos y bacterias.
- Propiedades de sedimentación: la mezcla permanece limpia en márgenes aceptables.
- Resiste el agotamiento: mantiene una concentración estable.
- Emulsificador: logra que el aceite introducido flote en la parte superior de la mezcla para su fácil remoción.

Diluciones recomendadas y preparación

El refrigerante mezcla uniformemente con el agua en proporciones de 5.0% (1:20) o 10.0% (1:10), es decir por cada 20 partes de agua, se agrega 1 parte de refrigerante. Estas proporciones están dadas para el mecanizado de metales ferrosos, otros materiales requieren proporciones diferente. No se recomienda adicionar otras sustancias a la mezcla o al concentrado a menos de que sea recomendación del servicio técnico del fabricante CIMCOOL.

Calibración del refractómetro

Antes de utilizar el refractómetro se debe realizar una calibración para tener certeza de la medida. Los pasos a seguir se indican a continuación:

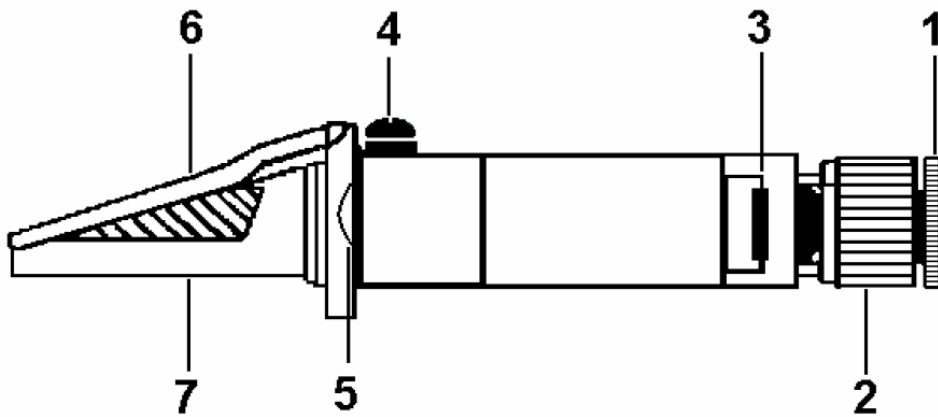
- Asegurarse de que el refractómetro, el agua y la muestra de fluido se encuentren a temperatura ambiente.
- Colocar una gota de agua entre la cubierta de plástico y el prisma.
- Mantener el refractómetro horizontalmente y apuntado hacia una fuente de luz.
- Observar el ocular.

- Ajustar la perilla de calibración de la escala hasta que la línea límite, que separa las áreas claras y oscuras de la escala, se encuentre colocada en el cero sobre la escala.

Verificación de la concentración

Para el análisis de concentración, se utiliza el refractómetro, el cual, es un instrumento óptico manual, que proporciona una lectura numérica mediante la medición del índice de refracción.

Esquema del refractómetro



- | | |
|-----------------------------------|------------------------|
| 1 Ocular | 5 Lentes |
| 2 Perilla para enfocar la escala | 6 Cubierta de Plástico |
| 3 Escala | 7 Prisma |
| 4 Perilla para Calibrar la escala | |

Fuente: Refractómetro Cimcool – Instrucciones de uso

Para utilizar el refractómetro se procede como sigue a continuación:

- Levantar la cubierta de plástico y limpiar el prisma con un paño limpio y seco.
- Colocar una o dos gotas de mezcla sobre el prisma y cerrar la cubierta de plástico.

- Mantener y observar el refractómetro horizontalmente y apuntando a una fuente de luz.
- Tomar la lectura en el punto donde se separan las áreas clara y oscura sobre la escala. Esta medida representa el porcentaje de concentración de refrigerante, que para este caso, será 2 (1:20).
- Limpiar el prisma y la cubierta de plástico con un paño limpio y seco antes de guardar el refractómetro.

Procedimiento para medir la concentración de refrigerante



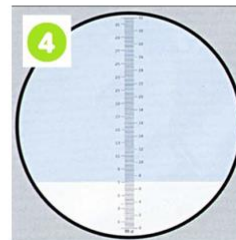
1 Limpieza del prisma con un paño limpio y suave



2 Colocar la muestra y cerrar la tapa



3 Observar la lectura horizontalmente y contraluz



4 Imagen típica de la medición

Fuente: los autores

Cambio de refrigerante y limpieza del sistema

Un acabado superficial deficiente en el trabajo, es usualmente el resultado de residuos en el fluido refrigerante, estos ocasionan ralladuras en las piezas, taponamiento de los poros de las piedras y en algunos casos endurecimiento por sedimentos en tornillos y partes móviles de la máquina.

Generalmente, dos tipos de residuos se acumulan en los sistemas de refrigeración:

- Suciedad como polvo de piedra, viruta de las piezas de trabajo, polvo sedimentado y otros materiales ajenos a la composición original del fluido refrigerante.
- Lodos como aceite y grasa combinados con algunas partículas de suciedad.

La suciedad y los lodos son propicios para el crecimiento de bacterias que pueden causar ranciedad (malos olores). Estos residuos se deben limpiar con un detergente antes de cambiar el refrigerante de lo contrario el problema persistirá.

Instrucciones para la aplicación del detergente

- Alistar dos recipientes con capacidad igual o mayor a la del tanque. Uno de ellos se utiliza para depositar el refrigerante y el otro para preparar la mezcla de agua y detergente.

Recipientes para detergente y refrigerante



Fuente: Los autores

- Extraer el refrigerante del tanque de la máquina al recipiente limpio, se recomienda utilizar una tela de filtro.

Extracción del refrigerante



Utilizar la bomba hasta donde sea posible



Ayudarse de un recipiente aparte

Fuente: los autores

- Secar y limpiar los residuos de refrigerante en el tanque de la máquina, retirar mugre y virutas utilizando para ello una carretilla y una pala.

Retiro de sedimentos y disposición de los mismos



Fuente: los autores

- Mezclar uniformemente, en proporción 1:30, el detergente con el agua y verter la mezcla en el tanque. La marca utilizada se denomina Cleancare MAQ100.

Mezclado del detergente



Fuente: los autores

Recomendaciones importantes:

- No es necesario llenar el tanque de refrigerante totalmente; solo hasta que el nivel permita que la bomba trabaje correctamente.
- No aplicar directamente el agua en la bancada o en partes metálicas para evitar oxidaciones.
- Realizar la mezcla de detergente en un recipiente limpio o directamente en el tanque de la máquina.
- Encender el sistema y dejar circular el detergente entre 1 y 2 horas, procurar abrir las válvulas por donde circula el refrigerante comúnmente.

Circulación del detergente por el sistema de refrigeración



Fuente: los autores

- Mientras circula el detergente, se pueden limpiar otras partes con la pistola a presión, usando la misma solución.
- Pasado el tiempo estipulado, se debe extraer la mezcla de detergente completamente. Éste puede reutilizarse en la limpieza de otra máquina antes de su desecho.
- Habiendo preparado previamente el refrigerante o habiendo dejado reposar de sedimentos el anterior, se retorna al tanque.
- Hacer circular el refrigerante, teniendo la precaución de recoger el primer chorro que retorne, ya que este vendrá impregnado de detergente.

Cuidados en el uso del detergente

Al igual que muchos químicos benéficos, se debe tener cuidado cuando se use el detergente.


- Por la fase alcalina, evitar el contacto con los ojos, piel y ropa. En caso de que el detergente concentrado entre en contacto con la piel, se debe limpiar con agua en abundancia.


- Usar gafas. En caso de contacto con los ojos lavar con abundante agua durante 15 minutos.
- Utilice guantes para su manipulación.
- En caso de ingestión, tomar abundante agua, no inducir el vómito.


Por la fase de queroseno, el detergente se debe mantener alejado de llamas o chispas. El agua usada para diluir el detergente no debe estar más caliente de 180°F (82°C).


ANEXO B. TABLAS DE INFORMACIÓN ACTIVO M017


Subsistema de la piedra reguladora


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M017		REG-M017		
		Subsistema			Auditor	de
		Piedra Reguladora				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Desplazar la pieza (cilindros lisos) a través de la máquina a la velocidad periférica de trabajo de la piedra reguladora	A	No desplaza la pieza de trabajo a través de la máquina	1	Ajuste del ángulo de la piedra de la reguladora incorrecto igual a 0°	La piedra reguladora crea una componente de la velocidad en la periferia, proporcional al seno del ángulo y las RPM de la piedra, esta es aprovechada por la pieza para moverse a través de la máquina. Si el ángulo es cero no se desplazara la pieza de trabajo a través de la máquina.
				2	Superficie de la piedra reguladora muy lisa	Producto del desgaste la piedra reguladora pierde rugosidad volviéndose lisa, este fenómeno produce deslizamiento en la pieza lo que conlleva a que no se desplace a la velocidad correcta.
		B	No desplaza la pieza a la velocidad de trabajo periférica de la piedra reguladora	1	Velocidad de la pieza de trabajo cercano al de rectificadora por mal ajuste del desplazamiento de la reguladora	Acercar demasiado la pieza a la piedra rectificadora, hace que ésta quede bajo la influencia de la alta velocidad de la rectificadora, esto es producto del ajuste de la manivela de desplazamiento de la reguladora. Por lo tanto la pieza se moverá a una velocidad muy alta.


		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código		Facilitador
		Rectificadora sin centros M017		REG-M017		
		Subsistema			Auditor	de
		Piedra Reguladora				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				2	Ajuste de la velocidad de la piedra de la reguladora incorrecto	La piedra reguladora crea una componente de la velocidad en la periferia, proporcional las RPM de la piedra, esta es aprovechada por la pieza para moverse a través de la máquina. Si la velocidad es muy alta, la pieza de trabajo se acelerara demasiado.
2	Girar la pieza de trabajo (cilindros con ceja) en un lugar fijo.	A	No gira la pieza de trabajo en un lugar fijo	1	Ajuste del ángulo de la piedra de la reguladora incorrecto diferente a 0°	La piedra reguladora crea una componente de la velocidad en la periferia, proporcional al seno del ángulo y las RPM de la piedra, esta es aprovechada por la pieza para moverse. Si el ángulo es mayor que cero se desplazara la pieza de trabajo a través de la máquina.
3	Girar la piedra reguladora a una velocidad de trabajo a 56 RPM o de diamantado a 300 RPM	A	No girar la piedra reguladora	1	Correa de la transmisión rota por desgaste	El desgaste por tiempo de uso hace que las correas pierdan capacidad para soportar carga y en determinado momento romperse, deshabilitando la capacidad del metro para girar la piedra.

		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
	Sistema	Código		Facilitador	Hoja N°	
	Rectificadora sin centros M017	REG-M017				
	Subsistema			Auditor	de	
	Piedra Reguladora					
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA
				2	Cadena de transmisión de potencia rota por desgaste	El desgaste por tiempo de uso y la falta de lubricación, pueden hacer que los eslabones de la cadena sufran de fatiga, perdiendo de esta manera la transmisión
				3	Rodamientos de los ejes de la caja de cambios desgastados	Un rodamiento averiado por desgaste de uso puede detener la transmisión completa impidiendo que la piedra gire
				4	Rodamientos del husillo dañados por desgaste	Un rodamiento dañado hará que el husillo no pueda girar ya que no tendrá en donde apoyarse, por lo tanto la piedra tampoco podrá girar.
		B	La piedra gira a una velocidad diferente a la especificada	1	Perdida de potencia en los apoyos, poleas, engranajes y cadenas	La fricción excesiva en los apoyos del husillo y pérdida de potencia por la transmisión ocasiona disminución de la velocidad.
				2	Polea de paso variable desajustada	El activo incorpora una polea de paso variable que permitía configurar la velocidad en valores distintos, si esta polea se desajusta durante la operación la piedra girará a otro valor


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M017	REG-M017			
		Subsistema			Auditor	de
		Piedra Reguladora				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA
				3	Desgaste de los engranajes de la caja de cambios	La suciedad producto del trabajo y la falta de lubricación pueden acelerar el desgaste de los engranajes y generar pérdidas de potencia.
4	Indicar la velocidad de rotación de la piedra reguladora en el tacómetro ubicado en la parte frontal	A	No indica la velocidad de rotación en el tacómetro	1	Mecanismo del tacómetro deshabilitado o desgastado	La cadena del tacómetro gira junto con el eje, lo que puede llevar a que se produzca una fatiga en los eslabones y de esta manera no se pueda indicar la velocidad de trabajo
5	Mantener la piedra reguladora en un nivel de alineación de ± 10 mm	A	La piedra no se mantiene alineada	1	Fuerza de ajuste en los tornillos de la brida insuficiente	Si no se aplica el suficiente torque en los tornillos de la brida que sostienen la piedra, la acción de rotación y la vibración del husillo harán que estos se aflojen desalineando la piedra.
				2	Deterioro en los tornillos de la brida por corrosión	El contacto con el refrigerante o la incrustación de sedimentos en los orificios de la brida pueden causar una oxidación en los pernos que con el tiempo perderán su capacidad de presión y por tanto capacidad para mantener la piedra alineada.
		B	La piedra mantiene una alineación mayor de ± 10 mm	1	Error en la calibración en el comparador de caratula	El comparador de carátula puede estar descalibrado lo cual ocasiona errores en la medida de desalineación.


		Coordinación de mantenimiento mecánico			Hoja de información RCM		REV.: 0
		Sistema		Código		Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M017		REG-M017			
		Subsistema			Auditor	de	
		Piedra Reguladora					
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	
				2	Error en la medición de la alineación durante el montaje de la piedra	La accesibilidad, poca luz, desgaste de la caratula del comparador pueden ocasionar que la medida tomada difiera de la realidad ocasionando una alineación errónea por fuera del límite admisible.	
6	Mantener la piedra reguladora balanceada	A	La piedra no se mantiene balanceada	1	Desbalanceo de carga generada por humedad acumulada en el aglomerado de la piedra	Si se deja detenida la piedra y el sistema de refrigerante funcionando, la humedad del líquido penetrara los poros de la piedra ocasionada que la masa se descompense produciendo un desbalanceo.	
				2	Desbalanceo de carga generada por suciedad acumulada en el montura de la piedra	La suciedad impregnada en el husillo, la piedra o el eje producto de los sedimentos que lleva consigo el refrigerante ocasionan cargas másicas que no permiten a la piedra mantenerse balanceada.	
				3	Balanceo durante el montaje incorrecto por imprecisión en el procedimiento manual	El balanceo se realiza fuera de la montura original, agregando masas en el rin de la brida de la piedra, un mal procedimiento o cálculo traen consigo desbalanceo.	


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Subsistema			Auditor	de
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA
7	Rectificar la piedra reguladora para producir una rugosidad uniforme sobre la superficie.	A	No rectifica la superficie de la piedra reguladora	1	Herramienta de corte desgastada totalmente por el uso	El desgaste total de la herramienta de corte, impide el rectificado de la piedra, hasta devolver su capacidad de corte.
				2	Dispositivo diamantado atascado por efecto de la suciedad en el sistema mecánico de desplazamiento.	El efecto combinado de la presión ejercida por el motor hidráulico sobre la suciedad acumulada en las guías del carro y el tornillo de desplazamiento del diamantado, ocasiona aglomeración excesiva de partículas provocando el atascamiento del carro e impidiendo que la superficie de la piedra no se rectifique.
				3	Obstrucción en el eje de profundidad de corte impidiendo el acercamiento de la punta de diamante	El dispositivo diamantado requiere lubricación y admisión de refrigerante, esto introduce suciedad al sistema impregnando de sedimentos y obstruyendo las partes móviles. Si la punta no se puede acercar, no se llevara a cabo la rectificación de la piedra.
				4	Atascamiento en la reducción de engranajes del motor hidráulico.	La falta de lubricación en los engranajes y apoyos de la reducción provocarían demasiada fricción en el movimiento del carro diamantado y por tanto no se llevaría a cabo la rectificación de la piedra.


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Subsistema			Auditor	de
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA
		B	No produce una rugosidad uniforme sobre la piedra	1	Exceso de profundidad de corte de la punta de diamante	Demasiada profundidad de corte ocasiona que la piedra quede tosca y con baches en la superficie, haciendo que la rugosidad no sea uniforme.
				2	Avance de corte de la unidad diamantada incorrecto	El avance de corte influye en la rugosidad de la piedra, una velocidad alta produce superficies ásperas y una velocidad baja produce superficies finas, el no poder regular esta velocidad produce superficies en la piedra no uniformes.
8	Guiar la pieza de trabajo sin provocarle golpes ni ralladuras	A	La pieza de trabajo posee golpes y ralladuras	1	Carencia del perfilado de la piedra reguladora (Cilindros lisos)	En el trabajo de cilindros lisos, la piedra reguladora requiere un perfilado frontal y trasero, para hacer el ingreso de la pieza a la piedra suave y gradual, si este perfilado no se realiza, la pieza puede tropezar con el borde recto y por lo tanto sufrir ralladuras.


Subsistema hidráulico de aceite


		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M017	ACEH-M017			
		Subsistema		Auditor	de	
		Hidráulico de aceite				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Bompear aceite filtrado a los husillos de las piedras a una presión no menor de 1.2 kg/cm ² y un caudal total 5 GPM	A	No bombea aceite a los husillos	1	Válvula de seguridad abierta completamente por atascamiento del carrete	Una válvula de seguridad se puede abrir si el resorte se encuentra fatigado o la holgura entre el casquillo y el carrete es muy amplia producto del desgaste. Lo que ocasiona que todo el caudal se pierda por la válvula dificultando la labor de lubricación en los husillos
				2	Filtro de aceite totalmente obstruido por acción de la suciedad	Ya que los sistemas no son completamente herméticos, los filtros tienen la capacidad de recoger toda la suciedad que se pueda colar, hasta que en algún momento se obstruya y por tanto no pueda enviar caudal a los husillos
				3	Nivel de aceite en el tanque nulo por falta de llenado	La completa ausencia de aceite en el tanque impedirá que la bomba succione líquidos y por tanto los husillos no serán lubricados
				4	Elemento de bombeo severamente desgastado por uso	La rotación constante de las paletas de la bomba lleva al desgaste en las pistas internas ocasionando que el fluido no levante la suficiente presión para ser bombeado y de esta manera no lubricar los husillos.

		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M017		ACEH-M017		
		Subsistema			Auditor	de
		Hidráulico de aceite				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				5	Condición del aceite inadecuada	Si se emplea un aceite con viscosidad diferente a la recomendada, contiene partículas o aire, la temperatura de trabajo es muy alta o el aceite tiene un uso excesivo, afectara la labor de bombeo y lubricación.
		B	Bombee aceite a una presión menor de 1.2 kg/cm ²	1	Válvula reguladora de presión tarada por debajo de presión de trabajo	Es posible que por equivocación se modifique la perilla de la válvula durante alguna otra labor de mantenimiento, aflojándola en un valor por debajo de la presión de trabajo causal que la presión no sea la correcta.
				2	Apoyos de la bomba severamente desgastados	La capacidad de levantamiento de presión de la bomba depende la eficiencia mecánica la cual está relacionada con las pérdidas por fricción, en este caso los rodamientos desgastados pueden ser potenciales disipadores de energía.
		C	Bombee aceite a un caudal menor de 5 GPM	1	Fugas por los sellos de la bomba en la carcasa	La pérdida de caudal a través de los sellos de la bomba es causal de que no se bombee la cantidad requerida


		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M017	ACEH-M017			
		Subsistema	Auditor	de		
		Hidráulico de aceite				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				2	Ingreso de aire en la succión por desgaste de los sellos	El aire en succión puede ingresar a la bomba si viene inmerso en el fluido turbulento o en las uniones de la tubería de entrada, este gas puede reducir el caudal al ocupar el espacio que debería bombear.
2	Desplazar la unidad diamantada con velocidad y dirección controlada	A	No desplaza la unidad diamantada	1	Válvula direccional atascada en la posición neutral	Producto de un mal filtrado esta válvula se puede quedar pegada en cualquier posición, especialmente en la posición neutral, además si la válvula reguladora de caudal se obstruye, la palanca no se podrá mover por la sobrepresión, provocando que el motor no se desplace.
				2	Válvula reguladora de caudal cerrada	La regulación de caudal se realiza a la salida del motor y esta compensada por presión, la válvula se puede obstruir si el compensador se cierra producto de partículas en el fluido.
				3	Válvula anti retorno a la salida del motor obstruida	La válvula anti retorno puede quedarse pegada en su asiento haciendo que la línea a la salida del motor se presurice y por tanto impidiendo su rotación, la consecuencia inmediata será la destrucción de los sellos del motor por sobrepresión.


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M017		ACEH-M017		
		Subsistema			Auditor	de
		Hidráulico de aceite				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				4	Torque del motor hidráulico insuficiente	La capacidad para desarrollar torque depende de la cilindrada del motor y la presión que el sistema le imponga, si el motor sufre ralladuras internas en la pista, estas pueden afectar la cilindrada y disipar la presión en forma de fricción, otras causas de pérdida de torque son fricciones en los apoyos del eje.
		B	No se puede controlar la velocidad de la unidad diamantadora	1	Rodete de la válvula direccional desgastado	El carrete de la válvula se puede desgastar producto del contacto con el casquillo que lo guarda, esto aumenta la holgura característica haciendo que se pierda la capacidad inherente de permitir más paso de caudal en la posición de velocidad extrema.
				2	Válvula de regulación compensada por presión atascada	La válvula reguladora se puede bloquear si se atasca el compensador de presión, lo que haría que la válvula se comporte como un estrangulamiento sencillo. La unidad diamantadora trabaja con variaciones sensibles de carga en la remoción de material de la piedra, estas variaciones son detectadas por el orificio afectando el control de velocidad.


		Coordinación de mantenimiento mecánico			Hoja de información RCM		REV.: 0
		Sistema		Código		Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M017		ACEH-M017			
		Subsistema			Auditor	de	
		Hidráulico de aceite					
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	
		C	No se puede controlar la dirección de la unidad diamantadora	1	Válvula direccional atascada	Debido a la suciedad que pueda contener el fluido la válvula direccional tiene tendencia a quedarse pegada, ocasionando que el control de velocidad no se pueda realizar.	
3	Lubricar las partes internas (engranajes y husillo) de la piedra reguladora	A	No se lubrican las partes internas de la piedra reguladora	1	Líneas de conexión en la válvula de distribución desconectadas	Las líneas se pueden desconectar producto de vibración de la máquina, si esto sucede alguna partes no podrán ser lubricadas	
				2	Bomba manual de un disparo averiada por los sellos del embolo	La bomba es incapaz de presurizar el fluido si los sellos están dañados y por tanto las partes internas no se pueden lubricar.	
4	Realiza el balanceo del husillo de la piedra rectificadora	A	No se realiza el balanceo de la piedra	1	No hay suministro de aceite hidráulico al sistema de enclave de las esferas metálicas	Los conductos de la válvula direccional están obstruidos por articulado en el aceite, impidiendo que llegue al sistema balanceo.	
5	Contener el aceite dentro del sistema.	A	No contiene el aceite dentro del sistema	1	Fugas en mangueras y acoples por instalación	El deterioro de las manqueras, de los empaques en los acoples y las ductos permiten perdidas importantes de aceite.	

		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M017		ACEH-M017		
		Subsistema			Auditor	de
		Hidráulico de aceite				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
6	Aliviar la presión en el sistema si esta excede un valor no menor de 1.57 kgf/cm ² .	A	No alivia la presión en el sistema	1	Válvula reguladora de presión tarada mal tarada	El taraje de la válvula esta un por encima de la presión de trabajo, si este valor es muy alto no se puede tener la certeza que en una eventual sobrepresión en el sistema el fluido pueda retornar al tanque y no cause efectos adversos.


Subsistema de refrigerante


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M017	REFR-M017			
		Subsistema	Auditor	de		
		Refrigeración				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Evitar que la pieza de trabajo y la maquina se corroan	A	La pieza de trabajo y la máquina se corroen	1	Baja concentración de refrigerante en la mezcla Refrigerante-Agua	Una baja concentración de taladrina en la mezcla agua-refrigerante es la principal causa de corrosión en la pieza de trabajo o en la maquina
				2	El valor de PH cae por debajo del nivel recomendado	Un valor de pH por debajo 8 es sinónimo de degradación del fluido refrigerante y de la presencia de bacterias, efectos directamente relacionados con el estado de corrosión de la pieza de trabajo o de las partes de la maquina
2	Mantener la superficie de la pieza de trabajo a temperatura estable y sin daños	A	No mantiene la temperatura estable	1	Error de expansión térmica por baja capacidad de remoción de calor del refrigerante	Las características propias del refrigerante influyen en la capacidad de remoción de calor. Pasar por alto estos parámetros conllevan a errores de medida por expansión térmica
		B	Superficie de la pieza de trabajo con daños	1	Suciedad y espuma en el fluido refrigerante	El uso de agua desmineralizada, el exceso de suciedad y una elevada concentración de refrigerante generan ralladuras y daños en el acabado superficial de la pieza lo que aumenta la rugosidad de la misma


		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M017		REFR-M017		
		Subsistema			Auditor	de
		Refrigeración				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
3	Bompear refrigerante a un caudal no menor de 40 lit/min.	A	No bombea refrigerante	1	Impulsor obstruido por sedimentos o suelto	Un desajuste en la brida, y la acumulación de sedimentos, ocasiona que el impulsor de la bomba funcione incorrectamente siendo incapaz de bombear refrigerante.
		B	Bombee refrigerante a un caudal menor de 40 lit/min	1	La combinación de Bomba-Motor no logra impulsar el caudal requerido	Dado que se usa una bomba centrífuga para bombear el refrigerante, una disminución en la velocidad que el motor le proporciona al rotor de la bomba, disminuye el caudal que la bomba entrega
4	Filtrar el refrigerante de retorno al tanque	A	No filtra el refrigerante de retorno	1	Reductor de engranajes obstruido por falta de lubricación	La falta de lubricación en la reducción genera fricción entre los engranajes lo que se traduce como pérdida de potencia en el eje del imantador, esto impide que se filtre la viruta del refrigerante
				2	Cadena de la transmisión de potencia atascada	Una obstrucción en la cadena de la transmisión debido a la falta de tensión en la etapa de conducción de la misma, falta de lubricación, puede detener el imán y no se filtraría el refrigerante de retorno


		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M017		REFR-M017		
		Subsistema			Auditor	de
		Refrigeración				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				3	Atascamiento de los rodamientos por particulado en la grasa de los mismos	La acumulacion de viruta por falta de limpieza en el imantador produce atascamiento en los rodamientos del imantador lo que impide su movimiento y el filtrado del refrigerante
				4	Imán incapaz de filtrar completamente	Las de viruta pueden evadir la acción magnética del imán si no son ferrosas. El diseño de la unidad contribuye al escape del particulado.
5	Contener un volumen de refrigerante dentro del sistema de 75 gal	A	No contiene el refrigerante en el sistema	1	Fugas en el tanque, mangueras y acoples	El deterioro de las manqueras, de los empaques en los acoples y las paredes permiten perdidas importantes de refrigerante
				2	Perdidas de refrigerante en la zona de mecanizado	Los conductos de retorno del refrigerante poseen filtraciones importantes de fluido que se escapan a través de la bancada, haciendo que el refrigerante no se contenga en el sistema


Subsistema eléctrico y de control


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M017	ELECS-M017			
		Subsistema		Auditor	de	
		Eléctrico y Control				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Proporcionar potencia mecánica a los elementos actuados, 18.5 kW Piedra rectificadora, 1.1 kW piedra reguladora, 2.3 kW Bomba aceite, 0.35 kW bomba refrigerante, 0.5 kW Imán	A	No proporciona la potencia mecánica a los elementos actuados	1	Contacto del interruptor principal del sistema desgastado	El desgaste de un interruptor se debe principalmente a la sobretensión a la cual pueda estar sometido, por ejemplo, una descarga eléctrica atmosférica. También es posible que los aislamientos pierdan su capacidad, ocasionando posibles cortos lo cual cortaría el suministro de energía y el motor no podrá entregar la potencia.
				2	Contactores de cada motor averiados eléctricamente o mecánicamente.	Contactos pegados o soldados por corriente que supera la capacidad de conexión del contactor, producto de cortos circuitos en la línea de alimentación e inestabilidad de tensión, tiempos de conmutación muy reducidos o fin de la vida útil eléctrica al consumirse el material de contacto, impiden que el motor entregue la potencia requerida.
				3	Relés térmicos de cada motor averiados	Si después de una sobrecarga el relé térmico sufre una avería total o permanece activado no abra flujo de electricidad hacia los bornes del motor y por tanto no se podrá entregar la potencia necesaria

		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	
		Rectificadora sin centros M017		ELECS-M017		
		Subsistema			Auditor	
		Eléctrico y Control			de	
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				4	Humedad en partes internas de los motores	Algunos motores funcionan bajo ambientes húmedos (sistema de refrigeración), esto aumenta la conductividad del aislamiento, haciendo que éste falle, si el sistema de aislamiento está totalmente puenteado, se producirá un cortocircuito y por tanto impidiendo que se desarrolle la potencia requerida.
				5	Bornes de los motores sueltos o corroídos	Si los bornes de conexión están corroídos, no pueden hacer un buen contacto eléctrico para conducir la energía eléctrica. La conexión se sobrecarga y llega el punto de carbonizar el borne. El sistema se detiene y deja de suministrar la energía requerida.
				6	Aislamiento entre fases y devanados desgastados	Los aislamientos entre fases o devanados se pueden desgastar con el tiempo perdiendo sus propiedades de aislamiento. El motor entra en corto circuito y se activan las protecciones, evitando que se suministre la potencia requerida.


		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M017	ELECS-M017			
		Subsistema		Auditor	de	
		Eléctrico y Control				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				7	Cables conductores rotos	Si en la acometida eléctrica se encuentran cables quebrados estos se van a calentar hasta fallar por aislamiento provocando corto circuito y activando las protecciones, impidiendo la entrega de potencia al sistema
		B	Proporciona una potencia menor de la especificada	1	Rodamientos del eje del motor desgastados	El uso del lubricante inadecuado, la carencia de lubricación o la sobre lubricación generan una vibración excesiva que disipan la energía suministrando de esta manera una potencia menor a la requerida.
				2	Ventilación restringida por suciedad	Una correcta ventilación eleva la temperatura de funcionamiento del motor lo que ocasiona problemas de desgastes en los aislamientos, el calor producido reduce notablemente el desempeño del estator generando pérdidas importantes de potencia
				3	Desalineación del rotor del motor	Si el motor no se encuentra alineado con el elemento actuado, este va a producir ruido excesivo, y vibrara, disipando la energía que entrega el motor.


		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M017	ELECS-M017			
		Subsistema		Auditor	de	
		Eléctrico y Control				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				4	Soltura mecánica en la base del motor	La soltura producto de tornillos sueltos, viene acompañada de vibración y funcionamientos anómalos. El motor entrega menos potencia por la disipación de energía.
2	Temporizar el flujo eléctrico al motor de la piedra rectificadora en no menos de 3 minutos.	A	No temporiza el flujo eléctrico al motor de la piedra rectificadora	1	Temporizador de arranque del motor desgastado	Si la vida útil del temporizador sobrepasa el límite, sus contactos se desgastan o fatigan haciendo que el flujo eléctrico no pase al tiempo requerido.
		B	Temporiza el flujo eléctrico del motor de la piedra en menos de 3 minutos	1	Temporizador de arranque del motor ajustado a un tiempo menor	Un mal ajuste del tiempo, demasiado corto, podría ocasionar que la lubricación no se lleve a cabo correctamente, ocasionando problemas.
3	Prevenir al usuario el contacto con elementos energizados o que atenten a la seguridad.	A	No se previene al usuario del contacto con elementos energizados	1	Tapas del gabinete eléctrico permanecen abiertas	La protección de los elementos eléctricos es fundamental para garantizar un correcto funcionamiento de los equipos y la seguridad de los operarios, trabajar con los gabinetes abiertos o d fácil acceso a personal no autorizado puede ser causal de un accidente

		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M017	ELECS-M017			
		Subsistema		Auditor	de	
		Eléctrico y Control				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				2	No existen conexiones de polo a tierra	El que no se realicen las conexiones de los equipos a polo a tierra puede generar una diferencia de potencial peligrosa en algún elemento de la maquina
				3	Ausencia de señalización contra riesgo eléctrico	Aunque todos los elementos eléctricos estén protegidos, es necesario señalar las posibles situaciones de riesgo al operario, la ausencia de señalización puede ser causal de accidentes
				4	Parada de emergencia deshabilitada	El usuario debe estar en capacidad de interrumpir el fluido de los motores completamente en caso de un riesgo de accidentalidad de cualquier tipo
4	Alertar al operario cuando la presión de la pieza sobre la piedra eleve la corriente a más del 75%.	A	No se alerta al operario cuando la corriente se eleva	1	Indicador de porcentaje de carga desconectado	Una mala conexión en el indicador de porcentaje de carga del motor de la piedra rectificadora impide al operario observar una referencia de la carga que se genera sobre la pieza, esto puede incurrir en errores de ovalicidad o rotura de la pieza

		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	
		Rectificadora sin centros M017		ELECS-M017		
		Subsistema			Auditor	
		Eléctrico y Control			de	
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA
				2	Se ignora la medida del indicador	Durante la operación es necesario observar el indicador de corriente para tener un control de la presión que se genera sobre la pieza, ignorar el amperímetro puede producir errores de ovalacidad o rotura de la pieza.
5	Avisar al operario cuando el tiempo de 3 min de temporizado para el llenado de husillos haya culminado	A	No se avisa al operario cuando el tiempo de temporizado para llenado de husillo haya culminado	1	Luz indicadora fundida	El husillo requiere una lubricación plena antes de poder ser accionado, la señal lumínica se da después de un tiempo estimado, si la bombilla se funde, habrá incertidumbre del momento preciso de lubricación.
				2	Contactador de la luz indicadora desgastado	La luz indicadora dispone de un contactor para su encendido, cualquier error mecánico o eléctrico del contacto impedirá su accionamiento, generando incertidumbre en la lubricación del husillo.

Subsistema misceláneo (otros)


		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	
		Rectificadora sin centros M017		OTRS-M017		
		Subsistema			Auditor	
		Otros (Reglillas de trabajo y guardas)			de	
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Soportar la pieza de trabajo por encima de la línea central de las piedras para generar redondeo.	A	No soporta la pieza de trabajo por encima de la línea central de las piedras para generar redondeo	1	Altura de la reglilla desajustada por mal montaje	El contacto con la piedra rectificadora depende directamente de la altura de la reglilla, un mal contacto genera problemas de no-redondeo
2	Mantener la pieza de trabajo en contacto estable con la piedra reguladora	A	No dirige de manera estable la pieza de trabajo hacia la piedra reguladora	1	Ángulo de inclinación del filo de la reglilla desgastado menor a 30°	La función del ángulo es dirigir la pieza contra la piedra reguladora, un desgaste excesivo de éste, hace que el proceso sea inestable puesto que la pieza tiende a moverse a la velocidad de la rectificadora.
3	Guiar la pieza de trabajo (cilindros lisos) a través de la máquina sin daños en la pieza.	A	Guía la pieza de trabajo a través de la máquina con daños en la pieza.	1	Ajuste de las guías de la reglilla inadecuado	Si la guías de la reglilla no se ajustan alineadas con la cara de la piedra reguladora, la pieza chocara con los bordes de la piedra, obstruyendo el movimiento y generando ralladuras
4	Mantener la pieza de trabajo (cilindros ceja) en un mismo lugar mientras se rectifica sin daños.	A	No mantiene la pieza de trabajo en un mismo lugar mientras se rectifica sin daños	1	Profundidad del tope de la reglilla inadecuado	Un mal ajuste de la profundidad de la reglilla para ceja puede estropear la ceja, abollándola o rayándola.
				2	Altura de la reglilla desajustada por mal montaje	El contacto con la piedra rectificadora depende directamente de la altura de la reglilla, un mal contacto genera problemas de no-redondeo


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M017		OTRS-M017		
		Subsistema			Auditor	de
		Otros (Reglillas de trabajo y guardas)				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
5	Prevenir al usuario del contacto con partes en movimiento.	A	No previene al usuario del contacto con partes en movimiento	1	Ausencia o desajuste de las guardas de protección	La protección de los elementos en movimiento es fundamental para garantizar la seguridad de los operarios, la ausencia de guardas puede ser causal de accidente


ANEXO C TABLAS DE DECISIÓN ACTIVO M017


Subsistema de la piedra rectificadora


			Coordinación de mantenimiento mecánico										REV.: 0			
			Hoja de información RCM													
			Sistema					Código		Facilitador			Hoja N°			
			Rectificadora sin centros M017					REC-M017								
			Subsistema							Auditor		de				
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción por defecto		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
			EVIDENTES			OCULTAS				4	5	3	8			
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	6	7					
1	A	1	S	N	N	S				9	10					
			S	N	N	S				N	S			Tarea programada de descarte: Cambiar la piedra rectificadora cuando alcance el diámetro mínimo de 40,64 cm, para asegurar el contacto con la pieza.	4 meses	Técnico mecánico y dos auxiliares
		2	S	N	N	S				S				Tarea programada bajo condición: Monitorear mediante la medición del diámetro de la pieza rectificadora el punto de falla potencial de rugosidad de la piedra, cuando se requieran más pasadas para alcanzar la medida. Después realizar un procedimiento de diamantado.	Aprox. Cada 40 piezas por lote	Operario
		3	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado de cambio de una vez: En caso de que la superficie de la piedra presente entrapamiento el operario debe realizar un procedimiento de rectificado de la piedra.		Operario

													Coordinación de mantenimiento mecánico Hoja de información RCM				REV.: 0
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°				
			Rectificadora sin centros M017						REC-M017								
			Subsistema						Auditor		de						
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							Acción por defecto		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR			
			EVIDENTES				OCULTAS			3					8		
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10	11					
	B	1	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad de la medición de la pieza por parte del operario midiendo el diámetro por cada pasada.		Operario	
		2	N				N	N	S	N	N	S		Tarea de búsqueda de fallas: revisar el estado de calibración de los relojes comparadores.	Según criterio del departamento de metrología	Departamento de metrología	
		3	N				N	N	S	N	N	N		Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de patronado la pieza por parte del operario capacitándolo.		Operario	
	C	1	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: En caso de que la superficie de la pieza presente un acabado brillante, revisar si la piedra presenta entrapamiento, el operario debe realizar un procedimiento de rectificado de la piedra.		Operario	


												Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0			
												Hoja de información RCM						
			Sistema						Código		Facilitador	Hoja N°						
			Rectificadora sin centros M017						REC-M017									
			Subsistema						Auditor		de							
			Piedra Rectificadora															
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1		2		Acción por defecto		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
										4	5	8	11					
			EVIDENTES			OCULTAS				6	7	3	11					
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10							
		3	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado: verificar el estado y número de las correas en la transmisión de la piedra rectificadora en caso de que esta no arranque.			Técnico mecánico y un auxiliar	
	B	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Revisar el ajuste de los componentes de la transmisión. Tensión de las correas, alineación de las poleas y el rotor del motor, lubricación de los rodamientos, montaje del motor.		8 meses	Técnico mecánico y un auxiliar	
3	A	1	N				S			N	S			Tarea programada de restauración: Aplicar con el torquimetro una fuerza de apriete equivalente a 30 lbf en cada tornillo siguiendo el patrón de estrella.		4 meses	Técnico mecánico y dos auxiliares	
		2	N				S			N	S			Tarea programada de restauración: Aplicar a los tornillos una capa delgada de grasa antes de colocarlos en la brida, en caso de que se observe corrosión el tornillo deberá ser cambiado.		4 meses	Técnico mecánico y dos auxiliares	


			Coordinación de mantenimiento mecánico										REV.: 0									
			Hoja de información RCM																			
			Sistema					Código		Facilitador			Hoja N°									
			Rectificadora sin centros M017					REC-M017														
			Subsistema							Auditor			de									
			Piedra Rectificadora																			
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1		2		Acción por defecto		TAREA PROPUESTA			INTERVALO INICIAL		A REALIZARSE POR	
										4		5										
			EVIDENTES				OCULTAS			6		7		3		11						
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10											
	B	1	N				N	N	S	N	S			Tarea de búsqueda de fallas: revisar el estado de calibración del Reloj comparador			Según criterio del departamento de metrología		Departamento de metrología			
		2	N				N	N	S	N	N			<u>Mantenimiento no programado cambio de una vez</u> : Mejorar la confiabilidad del procedimiento de alineación mediante la capacitación del mantenedor.					Técnico mecánico			
4	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Permitir la rotación de la piedra durante 1 minuto después de apagar el sistema de refrigerante, para expulsar la humedad de la piedra.			Al terminar labores		Operario			
		2	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Limpiar la montura de la piedra, eliminado los sedimentos de suciedad impregnados.			4 meses		Técnico mecánico y dos auxiliares			
		3	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Verificar el estado de fugas del circuito hidráulico de balanceo, el estado de funcionamiento de la válvula de alivio de presión y de la válvula de control de dirección.			8 meses		Técnico mecánico			


			Coordinación de mantenimiento mecánico										REV.: 0					
			Hoja de información RCM															
			Sistema					Código		Facilitador			Hoja N°					
			Rectificadora sin centros M017					REC-M017										
			Subsistema							Auditor			de					
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1		2		Acción por defecto		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
			EVIDENTES			OCULTAS				4		5		8				
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	6	7	3	11					
5	A	1	N				N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado llevado a la falla: Cambiar la punta de diamante por una nueva cuando se desgaste.		Técnico mecánico		
		2	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Asear los rieles del carro diamantador y posteriormente lubricar.	15 días	Dos auxiliares de mantenimiento		
		3	S	N	N	S				N	S			Tarea programada de restauración: Desmontar la carcasa del diamantador, realizar limpieza, retirar sedimentos y lubricar.	1 año	Técnico mecánico		
		4	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Eliminar partículas de suciedad presentes en el carro diamantador y lubricar con aceitera unas pocas gotas.	Diario	Operario		
	B	1	S	N	N	S				N	N		N	Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de diamantado, capacitando al operario en influencia de los parámetros de corte en la rugosidad de la piedra.		Operario		


													Coordinación de mantenimiento mecánico Hoja de información RCM				REV.: 0
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°				
			Rectificadora sin centros M017						REC-M017								
			Subsistema						Auditor		de						
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción por defecto		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
			EVIDENTES			OCULTAS				4	5	8					
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	6	7	3	11				
		2	N				N	N	S	9	10		N			Operario	
		2	N				N	N	S	9	10		N	<u>Mantenimiento no programado cambio de una vez:</u> Mejorar la confiabilidad del procedimiento de diamantado, capacitando al operario en influencia de los parámetros de corte en la rugosidad de la piedra.		Operario	


Subsistema de la piedra reguladora


												Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0		
												Hoja de información RCM					
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°				
			Rectificadora sin centros M017						REG-M017								
			Subsistema						Auditor		de						
			Piedra reguladora														
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
										4	5						6
			EVIDENTES				OCULTAS			3	11						
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10						
1	A	1	S	N	N	S				N	N			<u>Mantenimiento no programado cambio de una vez:</u> Mejorar la confiabilidad del procedimiento de ajuste del ángulo de la piedra reguladora, mediante la capacitación del operario.		Operario	
		2	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado llevado a falla: En caso de que la piedra pierda la rugosidad, es necesario que el operario realice un procedimiento de diamantado.		Operario	
	B	1	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de ajuste de la alimentación de la piedra reguladora, mediante la capacitación del operario.		Operario	
		2	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de ajuste de la velocidad de la piedra reguladora, mediante la capacitación del operario.		Operario	

													Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0		
													Hoja de información RCM					
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°					
			Rectificadora sin centros M017						REG-M017									
			Subsistema						Auditor		de							
			Piedra reguladora															
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1		2		Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
										4		5						
			EVIDENTES			OCULTAS				6		7		8				
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10	3	11					
2	A	1	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de ajuste del ángulo de la piedra reguladora, mediante la capacitación del operario.		Operario		
3	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: verificar el estado de las correas en búsqueda de grietas, y dado el caso realizar el cambio de todas.	8 meses	Técnico mecánico y dos auxiliares		
		2	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: verificar el estado de las cadenas y las coronas, comprobar alineación, lubricación por goteo, buscar desgaste en las articulaciones, agujeros en las placas y picaduras en los dientes, verificar tensión de la cadena. Ante cualquier anomalía, cambiar todo el conjunto de cadenas o coronas.	8 meses	Técnico mecánico y dos auxiliares		
		3	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Desmontar el compartimento del husillo y revisar la pista externa de los rodamientos de la caja de cambios en busca de ralladuras y cambios de color, si hay presencia de estos errores se debe programar el cambio en el siguiente intervalo.	8 meses	Técnico mecánico y dos auxiliares		


			Coordinación de mantenimiento mecánico										REV.: 0			
			Hoja de información RCM													
			Sistema					Código			Facilitador		Hoja N°			
			Rectificadora sin centros M017					REG-M017								
			Subsistema					Auditor			de					
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR		
			EVIDENTES				OCULTAS									
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3	8			
										4	5	7	11			
										6	9	10				
		4	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Desmontar el compartimento del husillo y revisar la pista externa de los rodamientos del husillo en busca de ralladuras y cambios de color, si hay presencia de estos errores se debe programar el cambio en el siguiente intervalo.	8 meses	Técnico mecánico y dos auxiliares
	B	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Revisar el ajuste de los componentes de la transmisión. Alineación de las poleas y el rotor del motor, lubricación de los rodamientos, montaje del motor.	8 meses	Técnico mecánico y un auxiliar
		2	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Revisión del mecanismo de engranaje de variación del paso de la polea, limpiar y lubricar.	8 meses	Técnico mecánico y un auxiliar


			Coordinación de mantenimiento mecánico										REV.: 0				
			Hoja de información RCM														
			Sistema					Código		Facilitador			Hoja N°				
			Rectificadora sin centros M017					REG-M017									
			Subsistema					Auditor			de						
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR			
			EVIDENTES			OCULTAS											
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3	8				
										4	5	6	7	9	10	11	
		3	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Revisión del mecanismo de engranajes de variación de velocidad en la caja de cambios, búsqueda de ralladuras en las pistas de los rodamientos, engranajes con picaduras, lubricación.		8 meses	Técnico mecánico y un auxiliar
4	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Revisión del mecanismo de accionamiento del tacómetro, revisión de la cadena y corona, rodamientos y eje flexible, lubricar.		8 meses	Técnico mecánico y un auxiliar
5	A	1	N				S			N	S			Tarea programada de restauración: Aplicar con el torquimetro una fuerza de apriete equivalente a 30 lbf en cada tornillo siguiendo el patrón de estrella.		8 meses	Técnico mecánico y dos auxiliares
		2	N				S			N	S			Tarea programada de restauración: Aplicar a los tornillos una capa delgada de grasa antes de colocarlos en la brida, en caso de que se observe corrosión el tornillo deberá ser cambiado.		8 meses	Técnico mecánico y dos auxiliares
	B	1	N				N	N	S	N	S			Tarea de búsqueda de fallas: revisar el estado de calibración del Reloj comparador		Según criterio del departamento de metrología	Departamento de metrología


			Coordinación de mantenimiento mecánico										REV.: 0		
			Hoja de información RCM												
			Sistema					Código		Facilitador			Hoja N°		
			Rectificadora sin centros M017					REG-M017							
			Subsistema					Auditor			de				
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
			EVIDENTES				OCULTAS								
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	6	7	3	8		
										9	10		11		
		2	N				N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de alineación mediante la capacitación del mantenedor.	Técnico mecánico
6	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Permitir la rotación de la piedra durante 1 minuto después de apagar el sistema de refrigerante, para expulsar la humedad de la piedra.	Al terminar labores Operario
		2	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Limpiar la montura de la piedra, eliminado los sedimentos de suciedad impregnados.	8 meses Técnico mecánico
		3	N				N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de alineación mediante la capacitación del mantenedor.	Técnico mecánico
7	A	1	N				N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado llevado a la falla: Cambiar la punta de diamante por una nueva cuando se desgaste.	Técnico mecánico
		2	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Asear los rieles del carro diamantador y posteriormente lubricar.	15 días Dos auxiliares de mantenimiento


			Coordinación de mantenimiento mecánico										REV.: 0			
			Sistema					Código			Facilitador		Hoja N°			
			Rectificadora sin centros M017					REG-M017								
			Subsistema										Auditor	de		
			Piedra reguladora													
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
										4	5					
			EVIDENTES				OCULTAS			9	10	3	11			
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G							
		3	S	N	N	S				N	S			Tarea programada de restauración: Desmontar la carcasa del diamantador, realizar limpieza, retirar sedimentos y lubricar.	8 meses	Técnico mecánico
		4	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Eliminar partículas de suciedad presentes y lubricar con aceite unas pocas gotas.	Diario	Operario
	B	1	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de diamantado, capacitando al operario en influencia de los parámetros de corte en la rugosidad de la piedra.		Operario
		2	N				N	N	S	N	N		N	Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de diamantado, capacitando al operario en influencia de los parámetros de corte en la rugosidad de la piedra.		Operario
8	A	1	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: mejorar la confiabilidad del proceso de perfilado de la piedra reguladora mediante la capacitación del operario.		Operario


Subsistema hidráulico de aceite


												Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0	
												Hoja de información RCM					
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°				
			Rectificadora sin centros M017						ACEH-M017								
			Subsistema								Auditor		de				
			hidráulico de aceite														
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias						1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR		
									4	5							
F			EVIDENTES			OCULTAS			6	7	3	8					
			A	B	C	D	E	F	G	9		10					
1	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10						
1	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restitución: realizar una revisión y limpieza de las partes internas de las válvulas del sistema, asegurando que contaminantes externos no ingresen a los elementos.	1 año		
		2	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de descarte: reemplazar el filtro usado.	3 meses	Técnico hidráulico	
		3	S	N	N	S				N	S			Tarea programada de restitución: revisar los niveles de aceite en los visores de la máquina, debe estar a 3/4 de altura. Si esta condición no se da, se debe reportar a mantenimiento para su revisión y llenado	Diaria: al iniciar labores	Operario	
		4	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restitución: realizar una revisión y limpieza de las partes internas de la bomba, buscar ralladuras en la pista interna, reemplazar el anillo en caso de que estas sean excesivas	8 meses	Técnico hidráulico	

												Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
												Hoja de información RCM				
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°			
			Rectificadora sin centros M017						ACEH-M017							
			Subsistema						Auditor		de					
			hidráulico de aceite													
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias						1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
									4	5						
F			EVIDENTES			OCULTAS			6	7	3	8				
			A	B	C	D	E	F	G	9		10				11
FF	MF															
		5	N					N	N	S	S			Tarea programada bajo condición: realizar un análisis de aceite hidráulico para determinar el estado del mismo y desgastes en la maquinaria.	1 año	Análisis externo
B	1	N						N	N	S	N	N		Mantenimiento no programado de cambio de una vez: comprobar la presión en el manómetro y ajustarla al valor de 1,57 kgf/cm ² .		Técnico hidráulico
		2	N					N	N	S	N	S		Tarea programada de restitución: revisar el estado de la pista externa de los rodamientos de la bomba, alineación del acople y soltura mecánica.	1 año	Técnico mecánico
C	1	N						N	N	S	N	S		Tarea programada de descarte: Reemplazar los sellos gastados de la bomba.	1 año	Técnico hidráulico
		2	N					N	N	S	N	N		Mantenimiento no programado de cambio de una vez: Comprobar ubicación de los ductos de retorno y succión del sistema, evitando la recirculación directa del fluido. Instalar un bafle de separación en el tanque.		Técnico hidráulico


													Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0	
													Hoja de información RCM					
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°					
			Rectificadora sin centros M017						ACEH-M017									
			Subsistema								Auditor		de					
			hidráulico de aceite															
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR		
										4	5							
F			EVIDENTES			OCULTAS			6	7	3	8						
			A	B	C	D	E	F	G	9		10						
FF	MF																	
2	A	1	S	N	N	S				N	S				Tarea programada de restitución: Revisar el estado de la válvula direccional, limpiarla, verificar su correcto desplazamiento y evitar el ingreso de suciedad en el casquillo.	1 año		
		2	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restitución: Revisar el estado de la válvula reguladora de caudal, limpiarla, verificar su fácil rotación y evitar el ingreso de suciedad en el casquillo.	1 año	Técnico hidráulico		
		3	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restitución: Revisar el estado de la válvula anti retorno a la salida del motor, limpiarla y evitar el ingreso de suciedad en el casquillo.	1 año	Técnico hidráulico		
		4	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restitución: realizar una revisión y limpieza de las partes internas del motor, buscar rayudaras en la pista interna, reemplazar el anillo en caso de que estas sean excesivas, cambiar los sellos.	1 año	Técnico hidráulico		


													Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0
													Hoja de información RCM			
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°			
			Rectificadora sin centros M017						ACEH-M017							
			Subsistema						Auditor		de					
			hidráulico de aceite													
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
										4	5					
F			EVIDENTES			OCULTAS				6	7	3	8			
			A	B	C	D	E	F	G	9	10		11			
FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10						
B	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restitución: Revisar el estado de la válvula direccional, comprobar que la posición extrema provee la velocidad alta, limpiarla, verificar su fácil rotación y evitar el ingreso de suciedad en el casquillo. Si presenta señales de desgaste programar su cambio.	1 año	Técnico hidráulico	
	2	S	N	N	S				N	S			Tarea programada de restitución: Revisar el estado de la válvula reguladora de caudal, comprobar que la velocidad puede ser reducida, limpiarla, verificar su fácil rotación y evitar el ingreso de suciedad en el casquillo. Si presenta señales de desgaste programar su cambio.	1 año	Técnico hidráulico	


												Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0						
												Sistema				Código		Facilitador		Hoja N°	
												Rectificadora sin centros M017				ACEH-M017					
												Subsistema				Auditor		de			
												hidráulico de aceite									
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA		INTERVALO INICIAL		A REALIZARSE POR			
										4	5										
			EVIDENTES			OCULTAS				6	7	3	8								
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10			11							
	C	1	S	N	N	S				N	S			Tarea programada de restitución: Revisar el estado de la válvula direccional, comprobar que la posición de avance y retroceso, limpiarla, verificar su fácil rotación y evitar el ingreso de suciedad en el casquillo. Si presenta señales de desgaste programar su cambio.	1 año	Técnico hidráulico					
3	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restitución: Revisar el estado de las líneas de distribución en los husillos, observar que esté libre de obstrucciones y fugas, observar ruptura y realizar su reemplazo.	1 año	Técnico hidráulico					
		2	S	N	N	S				N	S			Tarea programada de restitución: Revisar el estado de las líneas de distribución a la caja de engranajes, guías de la bancada, cadena de transmisión, comprobar el funcionamiento de la bomba manual.	1 año	Técnico hidráulico					
4	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restitución: Revisar el estado de las líneas de distribución al sistema hidráulico de balanceo, comprobar el estado de los elementos libres de obstrucciones o fugas.	1 año	Técnico hidráulico					

													Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0																
													Hoja de información RCM																				
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°																				
			Rectificadora sin centros M017						ACEH-M017																								
			Subsistema								Auditor		de																				
			hidráulico de aceite																														
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1		2		Acción a falta de		TAREA PROPUESTA				INTERVALO INICIAL		A REALIZARSE POR											
										4		5																					
F			EVIDENTES			OCULTAS				6		7		3										8									
			A			B			C				9											10									
MF			D			E				F		G																					
1			N			N				N		S		N		S						1 año		Técnico hidráulico									
5			A			1				N		N		S		N		S															
6			A			1				N		N		S		N		N		Mantenimiento no programado cambio de una vez: retornar el taraje de 1,57 kgf/cm ²						Técnico hidráulico							


Subsistema de refrigerante

													Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0
													Hoja de información RCM			
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°			
			Rectificadora M017						REFR-M017							
			Subsistema						Auditor		de					
			Refrigerante													
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
										4	5					
F			EVIDENTES			OCULTAS				6	7	3	8			
			A	B	C	D	E	F	G	9	10		11			
FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10						
1	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea de restitución programada: Realizar un análisis de concentración del refrigerando al 20%, utilizar refractómetro.	15 días	Auxiliar de mantenimiento
			N				N	N	S	N	S			Tarea de restitución programada: Realizar un análisis de PH del refrigerante de 10 ± 1 utilizar papel de PH	15 días	Auxiliar de mantenimiento
2	A	1	N				N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado: Dirigir el caudal de 40 LPM directo a la pieza de manera uniforme. Dado el caso rediseñar el difusor.		Técnico mecánico
	B	1	S	N	N	S				N	S			Tarea de restitución programada: Realizar una limpieza del refrigerante utilizando un filtro de tela para vaciar el tanque, el cual deberá se limpiado en su totalidad. Restablecer el volumen perdido bajo las consideraciones de concentración y pH, utilizar agua proveniente del acueducto.	15 días	Auxiliar de mantenimiento

													Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0
													Hoja de información RCM			
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°			
			Rectificadora M017						REFR-M017							
			Subsistema						Auditor		de					
			Refrigerante													
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias						1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
									4	5						
F			EVIDENTES			OCULTAS			6	7	3	8				
			A	B	C	D	E	F	G	9		10				11
FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10						
3	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea de restitución programada: Limpiar el impeler de la bomba y revisar su ajuste.	1 año	Técnico mecánico
	B	1	N				N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado de cambio de una vez: Revisar las especificaciones de presión y caudal para seleccionar la adecuada combinación bomba-motor y realizar el reemplazo.		Jefe de mantenimiento
4	A	1	N				N	N	S	N	S			Mantenimiento programado de restitución: Hacer una revisión completa de la caja de engranajes, limpiando suciedad proveniente del refrigerante y posteriormente lubricar.	1 año	Técnico mecánico
		2	S	N	N	S				N	S			Mantenimiento programado de restitución: Hacer una revisión completa de posibles daños en la cadena de transmisión, limpiando cualquier suciedad, procurando la tensión adecuada y aplicando grasa lubricante. Realizar cambio si es pertinente.	1 año	Técnico mecánico

													Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
													Hoja de información RCM				
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°				
			Rectificadora M017						REFR-M017								
			Subsistema						Auditor		de						
			Refrigerante														
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
										4	5						
F			EVIDENTES			OCULTAS				6	7	3	8				
			A	B	C	D	E	F	G	9	10		11				
		3	N					N	N	S	N	S			Mantenimiento programado de restitución: Hacer una revisión completa del estado de los rodamientos buscando ralladuras en la pista externa, limpiando la grasa lubricante contaminada y reemplazándola, evitar el exceso y carencia de grasa.	1 año	Técnico mecánico
		4	S	N	N	S					N	N			<u>Mantenimiento no programado de cambio de una vez:</u> Realizar una evaluación de la efectividad del sistema de filtrado y contemplar su rediseño.		Jefe de mantenimiento
5	A	1	S	N	N	S					N	S			Mantenimiento programado de descarte: revisar fugas en el tanque, y estado de las mangueras, realizar el cambio si se encuentra rota. Se aconseja adicionar un acople roscado a la válvula de distribución y la salida de la bomba.	1 año	Técnico mecánico
		2	S	N	N	S					N	N			Mantenimiento no programado de cambio de una vez: Acondicionar las guardas de la máquina de tal manera que no haya fuga de refrigerante, reemplazar empaque en la bancada y la descarga de refrigerante de retorno.		Técnico mecánico


Subsistema eléctrico y de control


												Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0		
												Hoja de información RCM					
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°				
			Rectificadora M017						OTRS-M017								
			Subsistema								Auditor		de				
			Otros														
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias						1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR		
									4	5							
F			EVIDENTES			OCULTAS			6	7	3	8					
			A	B	C	D	E	F	G	9		10					
FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10							
1	A	1	N				N	N	S	N	S			Mantenimiento programado de restauración: Ajustar la altura de la reglilla, bajo los parámetros establecidos de acuerdo al diámetro de la pieza.	Cada cambio de lote		
2	A	1	S	N	N	S				N	S			Mantenimiento programado de restauración: Realizar una limpieza de la reglilla, verificar el estado del ángulo, desgaste de las guías y resortes de restitución. Rectificar o fabricar en dado caso.	1 mes	Técnico mecánico	
3	A	1	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del ajuste de las guías de la reglilla mediante la capacitación del operario		Operario	
4	A	1	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad de la profundidad de la reglilla mediante la capacitación del operario		Operario	
		2	N				N	N	S	N	N		N	Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del ajuste de la altura de la reglilla mediante la capacitación del operario		Operario	


												Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0		
												Hoja de información RCM						
			Sistema						Código		Facilitador		Hoja N°					
			Rectificadora M017						OTRS-M017									
			Subsistema								Auditor		de					
			Otros															
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR		
										4	5							
F			EVIDENTES			OCULTAS				6	7	3	8					
			A	B	C	D	E	F	G	9	10		11					
FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10			Mantenimiento programado de restauración: verificar el estado de la totalidad de las guardas procurando que estén bien ajustadas.		Al iniciar labores	Operario		
5	A	1	S	S							N	S						


ANEXO D. DIAGRAMA DE INFORMACIÓN M018


Subsistema de la piedra rectificadora

		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M018		REC-M018		
		Subsistema			Auditor	De
		Piedra Rectificadora				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Rectificar la superficie de la pieza de trabajo a la tolerancia: Diámetro ± 0.025 con acabado superficial opaco y rugosidad no mayor de $3.2\mu\text{m}$	a	No rectifica la superficie de la pieza de trabajo	1	Diámetro de piedra rectificadora desgastada por debajo del límite admisible	Si el diámetro de la pieza se desgasta por debajo de su límite mínimo, la pieza no tendrá contacto con la piedra, el ajuste del avance de la bancada superior no alcanza a acercar la pieza por lo tanto no se puede llevar a cabo la rectificación.
				2	Piedra rectificadora sin capacidad de corte por desgaste de la superficie	Si la piedra de trabajo se utiliza tanto, su rugosidad se pierde gradualmente hasta quedar completamente lisa, esto ocasiona que el operario deba disponer de muchas más pasadas para lograr la rectificación hasta el punto en que no se puede rectificar.
				3	Piedra rectificadora sin capacidad de corte por entrapamiento de suciedad	Es posible que el refrigerante contenga demasiado aceite diluido y particulado inmerso como viruta y el mismo polvo desprendido de la piedra, esto ocasiona un taponamiento en los poros de la piedra que terminan por alisar la superficie haciendo que la acción de rectificado no se lleve a cabo.
		b	No rectifica la superficie de la pieza dentro de la tolerancia ± 0.025 mm	1	Exceso de rectificado de la pieza ($D < D_{nom} - 0.025$ mm) Carencia de rectificado en la pieza ($D > D + 0.025$ mm)	Cuando la pieza pasa demasiadas/pocas veces sin una verificación frecuente de la medida, puede hacer que la tolerancia buscada sobrepase o carezca para el parámetro de calidad, dejando la pieza por fuera del límite.


		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M018	REC-M018			
		Subsistema		Auditor	de	
		Piedra Rectificadora				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				2	Relojes comparadores mal calibrados	Si los relojes comparadores no están calibrados adecuadamente las medidas tomadas diferirán de la realidad haciendo que las piezas queden por fuera del límite.
				3	Procedimiento de patronado realizado incorrectamente	Si los relojes comparadores se ajustan mal debido a un procedimiento de patronado incorrecto, las medidas de las piezas diferirán de la realidad haciendo que queden por fuera del limite
		c	No rectifica la pieza con un acabado superficial opaco	1	Pieza de trabajo brillante por entrapamiento de la piedra rectificadora	Cuando la piedra rectificadora queda atrapada por acción de la suciedad y el exceso de aceite soluble en el refrigerante, su superficie se vuelve lisa haciendo que las piezas queden pulidas y con una superficie brillante. Como consecuencia no se obtiene la opacidad deseada.
		d	Rectifica la superficie de la pieza de trabajo con rugosidad mayor a 3.2 µm	1	Rugosidad de la piedra demasiado alta por efecto de una velocidad de diamantado alta	Una velocidad de diamantado alta, proporciona a la piedra un acabado brusco lo que se traduce en alta rugosidad en la pieza de trabajo.
				2	Piedra rectificadora de mala calidad	La calidad de la piedra influye bastante en la capacidad de corte, si por ejemplo, el aglomerado de las partículas se desprenden muy fácilmente, hará que rápidamente la piedra pierda capacidad de corte, dificultando el proceso de rectificado.


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M018	REC-M018			
		Subsistema		Auditor	de	
		Piedra Rectificadora				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
2	Girar la piedra rectificadora a una velocidad no menor de 1000 RPM	a	No gira la piedra rectificadora	1	Correas de la transmisión de la piedra rectificadora rotas por desgaste	Si las correas se encuentran rotas, no abra conexión entre el husillo y el eje de la piedra haciendo que la piedra no pueda girar.
				2	Rodamientos del husillo dañados por desgaste	Un rodamiento dañado hará que el husillo no pueda girar ya que no tendrá en donde apoyarse, por lo tanto la piedra tampoco podrá girar.
				3	Masa y características geométricas de la piedra nueva no le permiten al motor vencer la inercia	Cuando la piedra rectificadora es demasiado pesada (nueva), el motor requerirá mucha potencia para vencer la inercia, si esto ocurre la piedra no girará
		b	La piedra gira a una velocidad menor de 1000 RPM	1	Perdida de potencia en los apoyos y en la transmisión del husillo producto de la fricción	La fricción excesiva en los apoyos del husillo y pérdida de potencia por la transmisión ocasiona disminución de la velocidad.
3	Alinear la piedra rectificadora en un nivel de ± 10 mm	a	La piedra no se mantiene alineada	1	Fuerza de ajuste en los tornillos de la brida insuficiente	Si no se aplica el suficiente torque en los tornillos de la brida que sostienen la piedra, la acción de rotación y la vibración del husillo harán que estos se aflojen desalineando la piedra.
				2	Deterioro en los tornillos de la brida por corrosión	El contacto con el refrigerante o la incrustación de sedimentos en los orificios de la brida pueden causar una oxidación en los pernos que con el tiempo perderán su capacidad de presión y por tanto capacidad para mantener la piedra alineada.
		b	La piedra no se alinea dentro del rango ± 10 mm	1	Error en la calibración del comparador de caratula	El comparador de carátula puede estar descalibrado lo cual ocasiona errores en la medida de desalineación.


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código		Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M018	REC-M018			
		Subsistema			Auditor	de
		Piedra Rectificadora				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				2	Error en la medición de la alineación durante montaje de la piedra rectificadora	La accesibilidad, poca luz, desgaste de la caratula del comparador pueden ocasionar que la medida tomada difiera de la realidad ocasionando una alineación errónea por fuera del límite admisible.
4	Mantener la piedra rectificadora balanceada	a	La piedra no se mantiene balanceada	1	Carga generada por humedad acumulada en el aglomerado de la piedra	Si se deja detenida la piedra y el sistema de refrigerante funcionando, la humedad del líquido penetrara los poros de la piedra ocasionando que la masa se descompense produciendo un desbalanceo.
				2	Carga generada por suciedad acumulada en la montura de la piedra	La suciedad impregnada en el husillo, la piedra o el eje producto de los sedimentos que lleva consigo el refrigerante ocasionan cargas másicas que no permiten a la piedra mantenerse balanceada.
				3	Balanceo de las incorrecto	Un mal acomodamiento de las pesas para balanceo de la piedra permitirían un desbalanceo durante la operación
5	Rectificar la piedra rectificadora para producir una rugosidad uniforme sobre la superficie	a	No rectifica la superficie de la piedra rectificadora	1	Herramienta de corte desgastada totalmente por el uso	El desgaste total de la herramienta de corte impide el rectificado de la piedra hasta devolver su capacidad de corte
				2	Dispositivo diamantador atascado por efecto de la suciedad en el sistema mecánico de desplazamiento	El efecto producido por la suciedad acumulada en las guías del carro diamantador, ocasiona aglomeración excesiva de partículas provocando el atascamiento del carro e impidiendo el rectificado de la superficie de la piedra


		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M018	REC-M018			
		Subsistema		Auditor	de	
		Piedra Rectificadora				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				3	Obstrucción en el eje de profundidad de corte impide el acercamiento de la punta de diamante	El dispositivo diamantador requiere lubricación y admisión de refrigerante, esto introduce suciedad al sistema impregnando y obstruyendo de sedimentos las partes móviles; si la punta no se puede acercar no se llevara a cabo la rectificación de la piedra
		b	No produce una rugosidad uniforme sobre la piedra	1	Exceso de la profundidad de corte de la punta de diamante	Demasiada profundidad de corte ocasiona que la superficie de la piedra quede tosca y con baches, haciendo que la rugosidad no sea uniforme
				2	Avance del carro diamantador incorrecto	El avance de corte del carro diamantador influye en la rugosidad de la piedra, una velocidad alta produce superficies ásperas y una velocidad baja produce superficies finas, la regulación incorrecta de este parámetro produce superficies en la piedra no uniformes

Subsistema de la piedra conductora


		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M018	REG-M018			
		Subsistema	Auditor	de		
		Piedra Reguladora				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Desplazar la pieza (cilindro liso) a través de la maquina a la velocidad periférica de trabajo de la piedra reguladora	a	No desplaza la pieza de trabajo a través de la maquina	1	Ajuste del ángulo de la piedra reguladora igual a 0 grados	La piedra reguladora crea una componente de la velocidad en la periferia, proporcional al seno del ángulo y las RPM de la piedra, esta es aprovechada por la pieza para moverse a través de la máquina. Si el ángulo es cero no se desplazara la pieza de trabajo a través de la maquina
				2	Superficie de la piedra reguladora muy lisa	Producto del desgaste la piedra reguladora pierde rugosidad volviéndose lisa, este fenómeno genera desplazamiento en la pieza lo que conlleva a que no se desplace a la velocidad correcta
		b	No desplaza la pieza a la velocidad periférica de trabajo de la piedra reguladora	1	Velocidad de la pieza de trabajo cercano al de la piedra rectificadora por mal ajuste del desplazamiento de la piedra reguladora	Acercar demasiado la pieza a la piedra rectificadora hace que esta quede a merced de la velocidad de la rectificadora, esto es producto del ajuste de la manivela de desplazamiento de la piedra reguladora. Por tanto la pieza se moverá a una velocidad muy alta
				2	Ajuste de la velocidad de la piedra reguladora incorrecto	La piedra reguladora crea un componente de la velocidad en la periferia, proporcional a las RPM de la piedra, esta es aprovechada por la pieza para moverse, si la velocidad es muy alta la pieza de trabajo se acelera demasiado.
2	Girar la piedra reguladora a una velocidad d trabajo no mayor a 92 RPM	a	No gira la piedra reguladora	1	Correa de la transmisión rota por desgaste	El desgaste por tiempo de uso hace que las correas pierdan capacidad por perdida de tensión para soportar carga y en determinado momento romperse, deshabilitando la capacidad del metro para girar la piedra.


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código		Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M018	REG-M018			
		Subsistema			Auditor	de
		Piedra Reguladora				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				2	Rodamientos de los ejes de la caja de cambios desgastados	Un rodamiento averiado por desgaste de uso puede detener la transmisión completa impidiendo que la piedra gire
				3	Rodamientos del husillo dañados por desgaste	Un rodamiento dañado hará que el husillo no pueda girar ya que no tendrá en donde apoyarse, por lo tanto la piedra tampoco podrá girar.
		b	La piedra gira a una velocidad diferente a la especificada	1	Perdida de potencia en los apoyos, poleas, y engranajes	La fricción excesiva en los apoyos del husillo y perdida de potencia por la transmisión ocasiona disminución de la velocidad.
				2	Desgaste de los engranajes en la caja de cambios	La suciedad producto del trabajo y la falta de lubricación, pueden acelerar el desgaste de los engranajes y generar pérdidas de potencias
3	Mantener la piedra reguladora un nivel de alineación de ± 10 mm	a	La piedra reguladora no se mantiene alineada	1	Fuerza de ajuste en los tornillos de la brida insuficiente	Si no se aplica el suficiente torque en los tornillos de la brida que sostienen la piedra, la acción de rotación y la vibración del husillo harán que estos se aflojen desalineando la piedra.
				2	Deterioro en los tornillos de la brida por corrosión	El contacto con el refrigerante o la incrustación de sedimentos en los orificios de la brida pueden causar una oxidación en los pernos que con el tiempo perderán su capacidad de presión y por tanto capacidad para mantener la piedra alineada.
		b	La piedra no mantiene una alineación de ± 10 mm	1	Error en la calibración del comparador de caratula	El comparador de carátula puede estar descalibrado lo cual ocasiona errores en la medida de desalineación.


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M018		REG-M018		
		Subsistema			Auditor	de
		Piedra Reguladora				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				2	Error en la medición de la alineación durante montaje de la piedra rectificadora	La accesibilidad, poca luz, desgaste de la caratula del comparador pueden ocasionar que la medida tomada difiera de la realidad ocasionando una alineación errónea por fuera del límite admisible.
4	Mantener la piedra rectificadora balanceada	a	La piedra no se mantiene balanceada	1	Desbalanceo de carga generada por humedad acumulada en el aglomerado de la piedra	Si se deja detenida la piedra y el sistema de refrigerante funcionando, la humedad del líquido penetrara los poros de la piedra ocasionada que la masa se descompense produciendo un desbalanceo.
				2	Desbalanceo de carga generada por suciedad acumulada en el montura de la piedra	La suciedad impregnada en el husillo, la piedra o el eje producto de los sedimentos que lleva consigo el refrigerante ocasionan cargas másicas que no permiten a la piedra mantenerse balanceada.
				3	Balanceo durante el montaje incorrecto por imprecisión en el procedimiento manual	El balanceo se realiza fuera de la montura original, agregando masas en el rin de la brida de la piedra, un mal procedimiento o cálculo traen consigo desbalanceo.
5	Rectificar la piedra reguladora para producir una rugosidad uniforme sobre la superficie	a	No rectifica la superficie de la piedra reguladora	1	Herramienta de corte desgastada totalmente por el uso	El desgaste total de la herramienta de corte impide el rectificando de la piedra hasta devolver su capacidad de corte
				2	Dispositivo diamantador atascado por efecto de la suciedad en el sistema mecánico de desplazamiento	El efecto producido por la suciedad acumulada en las guías del carro diamantador, ocasiona aglomeración excesiva de partículas provocando el atascamiento del carro e impidiendo el rectificando de la superficie de la piedra

		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	Hoja N°
		Rectificadora sin centros M018		REG-M018		
		Subsistema			Auditor	de
		Piedra Reguladora				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
				3	Obstrucción en el eje de profundidad de corte impide el acercamiento de la punta de diamante	El dispositivo diamantador requiere lubricación y admisión de refrigerante, esto introduce suciedad al sistema impregnando y obstruyendo de sedimentos las partes móviles; si la punta no se puede acercar no se llevara a cabo la rectificación de la piedra
		b	No produce una rugosidad uniforme sobre la piedra	1	Exceso de la profundidad de corte de la punta de diamante	Demasiada profundidad de corte ocasiona que la superficie de la piedra quede tosca y con baches, haciendo que la rugosidad no sea uniforme
				2	Avance del carro diamantador incorrecto	El avance de corte del carro diamantador influye en la rugosidad de la piedra, una velocidad alta produce superficies ásperas y una velocidad baja produce superficies finas, la regulación incorrecta de este parámetro produce superficies en la piedra no uniformes
6	Guiar la pieza de trabajo sin provocarle golpes ni rayaduras	a	Guiar la pieza de trabajo sin provocarle golpes ni rayaduras	1	Carencia del perfilado de la piedra reguladora (Cilindros lisos)	En el trabajo de cilindros lisos, la piedra reguladora requiere un perfilado frontal y trasero, para hacer en ingreso de la pieza a la piedra suave y gradual, si este perfilado no se realiza, la pieza puede tropezar con el borde recto y por lo tanto sufrir rayaduras.


Subsistema de diamantado


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0	
		Hoja de información RCM					
		Sistema	Código		Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M018	DIAM-M018				
		Subsistema				Auditor	de
		Sistema de Diamantado de las ruedas rectificadora y reguladora					
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	
1	Bombear aceite filtrado a una presión no menor de 8kg/cm ² y a un caudal total no menor de 25 lit/min (6.6 GPM)	a	No bombea aceite	1	Válvula de seguridad abierta completamente por atascamiento del carrete	Una válvula de seguridad se puede abrir si el resorte se encuentra fatigado o la holgura entre el casquillo y el carrete es muy amplia producto del desgaste. Lo que ocasiona que todo el caudal se pierda por la válvula i midiendo que el caudal d aceite sea bombeado a los cilindros diamantadora	
				2	Filtro de aceite totalmente obstruido por acción de la suciedad	Ya que los sistemas no son completamente herméticos, los filtros tienen la capacidad de recoger toda la suciedad que se pueda colar, hasta que en algún momento se obstruya y por tanto no pueda enviar caudal a los cilindros	
				3	Nivel de aceite en el tanque nulo por falta de llenado	La completa ausencia de aceite en el tanque impedirá la succión de la bomba y por tanto el bombeo de aceite	
				4	Elemento de bombeo severamente desgastado por uso	La rotación constante de los engranajes de la bomba bajo esfuerzos de flexión en los dientes puede desgastarlos ocasionando que el fluido no levante la suficiente presión para ser bombeado y de esta manera no lubricar los husillos.	
				5	Condición del aceite inadecuado	Si se emplea un aceite con viscosidad diferente a la recomendada, el fluido contiene partículas o aire, la temperatura de trabajo es muy alta o aceite con uso excesivo afectara la labor de bombeo y lubricación.	

		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0	
		Hoja de información RCM					
		Sistema	Código		Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M018	DIAM-M018				
		Subsistema				Auditor	de
		Sistema de Diamantado de las ruedas rectificadora y reguladora					
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	
				6	Condición de aceite inadecuada	Si se emplea un aceite de viscosidad diferente a la recomendada, contiene partículas o aire, la temperatura de trabajo es muy alta o el aceite tiene un uso excesivo, afectara la función de bombeo	
		B	Bombea aceite a una presión menor de 8 kg/cm ²	1	Mal funcionamiento de las válvulas de control caudal en el circuito	Las correderas de las válvulas no se desplazan correctamente, el obturador y su asiento se encuentran desgastados, ocasionado holguras que conllevan pérdidas de presión.	
				2	Válvula reguladora de presión tarada por debajo de presión de trabajo	Es posible que se modifique el taraje en la perilla de la válvula durante alguna otra labor de mantenimiento, aflojándola en un valor por debajo de la presión de trabajo causal que la presión no sea la correcta.	
				3	Apoyos de la bomba severamente desgastados	La capacidad de levantamiento de presión de la bomba depende la eficiencia mecánica la cual está relacionada con las pérdidas por fricción, en este caso los rodamientos desgastados pueden ser potenciales disipadores de energía.	
		C	Bombea aceite a un caudal menor de 5 GPM	1	Fugas por los sellos de la bomba en la carcasa y rotor desgastados por uso	La pérdida de caudal a través de los sellos de la bomba es causal de que no se bombee la cantidad requerida	
2	Desplazar la unidad diamantadora con velocidad y dirección controlada	A	No desplaza la unidad diamantadora	1	Válvula reguladora de caudal cerrada	La regulación de caudal se realiza a la salida del motor y esta compensada por presión, la válvula se puede obstruir si el compensador se cierra producto de partículas en el fluido.	


		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0	
		Hoja de información RCM					
		Sistema	Código		Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M018	DIAM-M018				
		Subsistema				Auditor	de
		Sistema de Diamantado de las ruedas rectificadora y reguladora					
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	
				2	Obstrucción del carro diamantador por suciedad	Por efecto de la suciedad y la viruta acumulada en la maquina el carro del diamantador puede atacarse evitando el desplazamiento para el diamantado	
				3	Fugas en las válvulas direccionales y reguladora de caudal por desgaste debido a la suciedad	Los carretes de estos accesorios están contenidos dentro de un casquillo que con el tiempo se raya y desgasta por la acción abrasiva de las partículas de suciedad, esto aumenta las holguras y por tanto produce fugas que no podrán contener el aceite	
		B	No se puede controlar la velocidad de la unidad diamantadora	1	Carrete de la válvula direccional desgastado	El rodete de la válvula se puede desgastar producto del contacto con el casquillo que lo guarda, esto aumenta la holgura característica haciendo que se pierda la capacidad inherente de permitir más paso de caudal en la posición de velocidad extrema.	
				4	Desgaste en los sellos de los cilindros hidráulicos	El desgaste de los sellos implica pérdidas importantes de caudal que se van a través de las entradas, ocasionando que los cilindros no desarrollen la velocidad requerida.	
3	Contener el aceite en el sistema	A	No contiene el aceite dentro del sistema hidráulico	1	Fugas en mangueras y acoples por instalación	El deterioro de las manqueras, de los empaques en los acoples y las ductos permiten perdidas importantes de aceite.	
				2	Fugas en sellos de los catadores	Los sellos de estos elementos se desgastan producto de la presión y el movimiento rotatorio de sus ejes, si se producen fuga en estos accesorios no se podrá contener el aceite dentro del sistema.	


Subsistema de refrigeración

		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M018	REFR-M018			
		Subsistema			Auditor	de
		Refrigeración				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Proteger la pieza de trabajo y la máquina de la corrosión	a	Se presenta corrosión en las partes de la máquina y en la pieza de trabajo	1	Baja concentración de refrigerante en la mezcla Refrigerante-Agua	Una baja concentración de taladrina en la mezcla agua-refrigerante es la principal causa de corrosión en la pieza de trabajo o en la maquina
				2	Disminución del valor del pH	Un valor de pH por debajo 8 es sinónimo de degradación del fluido refrigerante y de la presencia de bacterias, efectos directamente relacionados con el estado de corrosión de la pieza de trabajo o de las partes de la maquina
2	Mantener la superficie de la pieza de trabajo a temperatura estable y sin daños	a	No mantiene la temperatura de la pieza estable	1	Error de expansión térmica por baja capacidad de remoción de calor del refrigerante	Las características propias del refrigerante influyen en la capacidad de remoción de calor. Pasar por alto estos parámetros conllevan a errores de medida por expansión térmica
		b	Superficie de la pieza con daños	1	Suciedad y espuma en el fluido refrigerante	El uso de agua desmineralizada, el exceso de suciedad y una elevada concentración de refrigerante generan rayaduras y daños en el acabado superficial de la pieza lo que aumenta la rugosidad de la misma
3	Bombear refrigerante a un caudal no menor de 40 lit/min.	a	No bombea refrigerante	1	Impulsor obstruido por sedimentos o suelto	Un desajuste en la brida y la acumulación de sedimentos ocasiona que el impulsor de la bomba funcione incorrectamente siendo incapaz de bombear refrigerante.
		b	Bombea refrigerante a un caudal menor de 40 lit/min	1	La combinación de Bomba-Motor no logra impulsar el caudal requerido	Dado que se usa una bomba centrífuga para bombear el refrigerante, una disminución en la velocidad que el motor le proporciona al rotor de la bomba, disminuye el caudal que la bomba entrega

		Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M018	REFR-M018			
		Subsistema			Auditor	de
		Refrigeración				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
4	Filtrar el refrigerante de retorno al tanque	a	No filtra el refrigerante de retorno	1	Reductor de engranajes obstruido por falta de lubricación	La falta de lubricación en la reducción genera fricción entre los engranajes lo que se traduce como pérdida de potencia en el eje del Imantador, esto impide que se filtre la viruta del refrigerante
				2	Cadena de la transmisión de potencia atascada	Una obstrucción en la cadena de la transmisión debido a la falta de tensión en la etapa de conducción de la misma, falta de lubricación puede detener el imán y no se filtraría el refrigerante de retorno
				3	Atascamiento de los rodamientos por particulado en la grasa de los mismos	La acumulación de viruta por falta de limpieza en el Imantador produce atascamiento por en los rodamientos del Imantador lo que impide su movimiento y el filtrado del refrigerante
				4	Imán incapaz de filtrar completamente el refrigerante	Las partículas de viruta pueden evadir la acción magnética del imán si no son ferrosas. El diseño de la unidad Imantador, contribuye al escape del particulado
5	Contener un volumen de refrigerante dentro del sistema de 276.3 lit (73 Gal)	a	No contiene el refrigerante en el sistema	1	Fugas en el tanque, mangueras y acoples	El deterioro de las mangueras, de los empaques en los acoples y de las paredes del tanque permiten pérdidas importantes de refrigerante
				2	Perdidas de refrigerante en la zona de mecanizado	Los conductos de retorno del refrigerante poseen filtraciones importantes de fluido que se escapan a través de la bancada, haciendo que el refrigerante no se contenga en el sistema


Subsistema eléctrico

		Coordinación de mantenimiento mecánico				
		Hoja de información RCM				
		Sistema		Código	Facilitador	
		Rectificadora sin centros M018		ELECS-M018		
		Subsistema			Auditor	
		Eléctrico y Control				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Proporcionar potencia mecánica a los elementos actuados, 17 HP a la piedra rectificadora, 1.07 HP a la piedra reguladora, 0.5 HP a la bomba de lubricación, 1.07 HP a la bomba de diamantado, 0.5 HP a la bomba de refrigerante y 1.4 HP al Imantador.	a	No proporciona la potencia mecánica a los elementos actuados	1	Contacto del Interruptor principal del sistema desgastado	El desgaste de un interruptor se debe principalmente a la sobretensión a la cual pueda estar sometido, por ejemplo, una descarga eléctrica atmosférica. También es posible que los aislamientos pierdan su capacidad, ocasionando posibles cortos lo cual cortaría el suministro de energía y el motor no podrá entregar la potencia.
				2	Contactores de cada motor averiados eléctrica o mecánicamente	Contactos pegados o soldados por corriente que supera la capacidad de conexión del contactor, producto de cortos circuitos en la línea de alimentación e inestabilidad de tensión, tiempos de conmutación muy reducidos o fin de la vida útil eléctrica al consumirse el material de contacto, el motor de la piedra no entrega la potencia mecánica.
				3	Relé térmico de cada motor averiados	Si después de una sobrecarga el relé térmico sufre una avería total o permanece activado no abra flujo de electricidad hacia los bornes del motor y por tanto no se podrá entregar la potencia necesaria
				4	Humedad en las partes internas del motor	Algunos motores funcionan bajo ambientes húmedos (sistema de refrigeración), esto aumenta la conductividad del aislamiento, haciendo que éste falle, si el sistema de aislamiento está totalmente puenteado, se producirá un cortocircuito y por tanto impidiendo que se desarrolle la potencia requerida.
				5	Bornes de conexión sueltos o corroídos	Si los bornes de conexión están corroídos, no pueden hacer un buen contacto eléctrico para conducir la energía eléctrica. La conexión se sobrecarga y llega el punto de carbonizar el borne. El sistema se detiene y deja de suministrar la energía requerida.


							Hoja de información RCM		
			Sistema		Código	Facilitador			
			Rectificadora sin centros M018		ELECS-M018				
			Subsistema				Auditor		
			Eléctrico y Control						
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			
				6	Aislamiento entre fases y devanado desgastados	Los aislamientos entre fases o devanados se pueden desgastar con el tiempo perdiendo sus propiedades de aislamiento cualquier contaminación que pueda deteriorar los aislamientos de las espiras, fases, conexiones o ranuras puede producir un corto, adicionalmente si hay sobretensión o sobrecarga en el eje o ventilación deficiente, el motor se verá forzado a trabajar bajo estas condiciones y provocara su sobrecalentamiento y daño lo que impedirá el suministro de potencia requerida. o. El motor entra en corto circuito y se activan las protecciones, evitando que se suministre la potencia requerida.			
				7	Cables conductores rotos	Si en la acometida eléctrica se encuentran cables quebrados estos se van a calentar hasta fallar por aislamiento provocando corto circuito y activando las protecciones, impidiendo la entrega de potencia al sistema			
		b	Proporciona una potencia menor de la especificada	1	Rodamientos del eje del motor desgastados	El uso del lubricante inadecuado, la carencia de lubricación o la sobre lubricación generan una vibración excesiva que disipan la energía suministrando de esta manera una potencia menor a la requerida.			
				2	Ventilación del motor restringida por suciedad	Una correcta ventilación eleva la temperatura de funcionamiento del motor lo que ocasiona problemas de desgastes en los aislamientos, el calor producido reduce notablemente el desempeño del estator generando pérdidas importantes de potencia			
				3	Desalineación del rotor del motor	Si el motor no se encuentra alineado con el elemento actuado, este va a producir ruido excesivo, y vibrara, disipando la energía que entrega el motor.			
				4	Soltura mecánica en la base del motor	La soltura producto de tornillos sueltos, viene acompañada de vibración y funcionamientos anómalos. El motor entrega menos potencia por la disipación de energía.			

Coordinación de mantenimiento mecánico						
Hoja de información RCM						
Sistema		Código		Facilitador		
Rectificadora sin centros M018		ELECS-M018				
Subsistema				Auditor		
Eléctrico y Control						
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
2	Interrumpir el flujo eléctrico del motor de la piedra rectificadora si el nivel de aceite en el husillo cae por debajo del mínimo	a	No se interrumpe el fluido eléctrico cuando el nivel de aceite en el husillo es mínimo	1	Daño por uso de los contactos del interruptor	Los contactos del interruptor pueden pegarse por suciedad lo que impide tener un control sobre el nivel de lubricación en el husillo e interrumpir el flujo eléctrico al motor si este cae por debajo de lo admisible
					Palanca del flotador rota o bloqueada	El bloqueo de la palanca del flotador que activa el interruptor o la rotura de la misma impedirá interrumpir la corriente eléctrica del motor si el nivel de aceite está por debajo del nivel admisible
4	Prevenir al usuario el contacto con elementos energizados o que atenten a su seguridad	a	No se previene al usuario del contacto con elementos energizados	1	Las tapas del gabinete eléctrico permanecen abiertas	La protección de los elementos eléctricos es fundamental para garantizar un correcto funcionamiento de los equipos y la seguridad de los operarios, trabajar con los gabinetes abiertos o d fácil acceso a personal no autorizado puede ser causal de un accidente
				2	No existen conexiones de polo a tierra	El que no se realicen las conexiones de los equipos a polo a tierra puede generar una diferencia de potencial peligrosa en algún elemento de la maquina
				3	Ausencia de señalización contra riesgo eléctrico	Aunque todos los elementos eléctricos estén protegidos, es necesario señalar las posibles situaciones de riesgo al operario, la ausencia de señalización puede ser causal de accidentes
				3	Parada de emergencia deshabilitada	El usuario debe estar en capacidad de interrumpir completamente el fluido eléctrico de los motores en caso de un riesgo de accidentalidad
5	Alertar al operario cuando la sobrecarga eléctrica del motor de la rectificadora, ocasionada por la presión de las piedras sobre la pieza, exceda 50 A	a	No se alerta al operario cuando la corriente se eleva a 50 A	1	Amperímetro desconectado	Una mala conexión en el amperímetro del motor de la piedra rectificadora impide al operario observar una referencia de la carga que se genera sobre la pieza, esto puede incurrir en errores de ovalamiento o rotura de la pieza
				2	Se ignora el indicador de corriente	Durante la operación es necesario observar el indicador de corriente para tener un control de la presión que se genera sobre la pieza, ignorar el amperímetro puede producir errores de ovalamiento rotura de la pieza

Otros

		Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0	
		Hoja de información RCM				
		Sistema	Código	Facilitador	Hoja N°	
		Rectificadora sin centros M018	OTRS-M018			
		Subsistema		Auditor	de	
		Otros (Reglillas de trabajo)				
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Soportar la pieza de trabajo por encima de la línea central de las piedras para generar redondeo.	a	No soporta la pieza de trabajo por encima de la línea central de las piedras para generar redondeo	1	Altura de la reglilla desajustada por mal montaje	El contacto con la piedra rectificadora depende directamente de la altura de la reglilla, un mal contacto genera problemas de no redondeo
2	Mantener la pieza de trabajo en contacto estable con la piedra reguladora	a	No dirige de manera estable la pieza de trabajo hacia la piedra reguladora	1	Angulo de inclinación del filo de la reglilla desgastado menor de 30°	La función del ángulo de la reglilla es dirigir la pieza contra la piedra reguladora, un desgaste excesivo de este, hace que el proceso sea inestable puesto que la pieza tiende a moverse a la velocidad de la rectificadora
3	Guiar la pieza de trabajo a través de la máquina sin daños en la pieza	a	Guía la pieza de trabajo a través de la máquina con daños en la pieza	1	Ajuste de las guías de la reglilla inadecuado	Si las guías de la reglilla no se ajustan alineadas con la cara de la piedra reguladora, la pieza chocara con los bordes de la piedra obstruyendo el movimiento y generando rayaduras
4	Prevenir al usuario del contacto con partes en movimiento	a	No previene al usuario del contacto con partes en movimiento	1	Ausencia o desajuste de las guardas de protección	La protección de los elementos en movimiento es fundamental para garantizar la seguridad de los operarios, la ausencia de guardas puede ser causal de accidente


ANEXO E. DIAGRAMA DE DECISIÓN M018
Subsistema de la piedra rectificadora


			Hoja de información RCM															
			Sistema					Código				Facilitador		Hoja N°				
			Rectificadora sin centros M018					REC-M018										
			Subsistema											Auditor		de		
			Piedra ratificadora															
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1		2		Acción por defecto		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
										4		5		3				
			EVIDENTES			OCULTAS				6		7		11				
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10							
1	A	1	S	N	N	S				N	S			Tarea programada de descarte: Cambiar la piedra rectificadora cuando alcance el diámetro mínimo de 39 cm para asegurar el contacto con la pieza.	2 meses	Técnico mecánico y dos auxiliares		
		2	S	N	N	S				S				Tarea programada bajo condición: Monitorear mediante la medición del diámetro de la pieza rectificadora el punto de falla potencial de rugosidad de la piedra cuando se requieran más pasadas para alcanzar la medida, después realizar un procedimiento de diamantado	Cada 40 piezas por lote aproximadamente	Operario		
		3	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado llevado a la falla: En caso de que la superficie de la piedra presente entrapamiento el operario debe realizar un procedimiento de rectificado de la piedra		Operario		
	B	1	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad de la medición de la pieza por parte del operario midiendo el diámetro por cada pasada				
		2	N				N	N	S	N	S		S	Tarea de búsqueda de fallas: Revisar el estado de calibración de los relojes comparadores	Según criterio del departamento de metrología	Departamento de metrología		

			Sistema										Código				Facilitador		Hoja N°
			Rectificadora sin centros M018										REC-M018						
			Subsistema										Auditor				de		
			Piedra rectificadora																
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1 2		Acción por defecto		TAREA PROPUESTA				INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
										4 5									
			EVIDENTES				OCULTAS			6 7		3 8							
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10	11							
		3	S	N	N	S								Mantenimiento no programado: Verificar el estado y número de las correas de la transmisión de la piedra rectificadora en caso de que esta no arranque		Técnico mecánico y dos auxiliares			
2	B	1	S	N	N	S				N	S			Tarea programada de restauración: Revisar el ajuste de los componentes de la transmisión, tensión de las correas, alineación de las poleas y el rotor del motor, lubricación de los rodamientos y montaje del motor	8 meses	Técnico mecánico y un auxiliar			
3	A	1	N				S							Tarea programada de restauración: Aplicar con el torquímetro una fuerza de apriete equivalente a 30 libras fuerza en cada tornillo siguiendo el patrón de estrella	2 meses	Técnico mecánico y un auxiliar			
		2	N				S			N	S			Tarea de restauración programada: Aplicar a los tornillos una capa delgada de grasa antes de colocarlos en la brida, en caso de que se observe corrosión el tornillo deberá ser cambiado	2 meses	Técnico mecánico y un auxiliar			
	B	1	N				N	N	S	N	S			Tarea de búsqueda de fallas: Revisar el estado del comparador de caratula	Según criterio del departamento de metrología	Departamento de metrología			
		2	N				N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de alineación mediante la capacitación del mantenedor		Técnico mecánico			
4	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Permitir la rotación de la piedra durante 1 minuto después de apagar el sistema de refrigerante, para expulsar la humedad de la piedra	Al terminar labores	Operario			

													Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.:		
													Hoja de información RCM				0		
			Sistema				Código				Facilitador				Hoja N°				
			Rectificadora sin centros M018				REC-M018												
			Subsistema								Auditor				de				
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción por defecto		TAREA PROPUESTA				INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
										4	5								
			EVIDENTES			OCULTAS				6	7	3	8						
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10		11						
		2	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Limpiar la montura de la piedra eliminando los sedimentos de suciedad impregnados	2 meses	Técnico mecánico			
		3	N				N	N	S					Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de balanceo mediante la capacitación del mantenedor		Técnico mecánico			
5	A	1	N				N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado llevado a la falla: Cambiar la punta de diamante cuando se desgaste		Técnico mecánico			
		2	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Asear los rieles del carro diamantador y posteriormente lubricar	15 días	Auxiliar de mantenimiento			
		3	S	N	N	S				N	S			Tarea programada de restauración: Desmontar la carcasa del diamantador, realizar limpieza, retirar sedimentos y lubricar	1 año	Técnico mecánico			
	B	1	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado: Mejorar la confiabilidad del diamantado capacitando el operario en la influencia de los parámetros de corte en la rugosidad de la piedra		Operario			
		2	N				N	N	S					Mantenimiento no programado: Mejorar la confiabilidad del diamantado capacitando el operario en la influencia de los parámetros de corte en la rugosidad de la piedra		Operario			

Subsistema de la piedra reguladora


			Sistema										Código		Facilitador	Hoja N°			
			Rectificadora sin centros M018										REG-M018						
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias										Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR		
			EVIDENTES					OCULTAS					1	2				3	8
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10	4	5	6	7	11			
1	A	1	S	N	N	S					N	N					Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de ajuste del ángulo mediante la capacitación del operario		Operario
		2	S	N	N	S					N	N					Mantenimiento no programado llevado a falla: En caso de que la piedra pierda la rugosidad es necesario que el operario realice un procedimiento de diamantado.		Operario
	B	1	S	S							N	N					Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de ajuste de la alimentación de la piedra reguladora mediante la capacitación del operario.		Operario
		2	S	N	N	S					N	N					Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de ajuste de la velocidad de la piedra reguladora mediante la capacitación del operario.		Operario
2	A	1	N				N	N	S	N	S						Tarea programada de restauración: Verificar la tensión de las correas, el estado de las mismas en búsqueda de grietas dado el caso realizar el cambio de todas.	8 meses	Técnico Mecánico
		2	N				N	N	S	N	S						Tarea programada de restauración: Desmontar el compartimento de la caja de cambios de la pierna reguladora y revisar la pista externa de los rodamientos en búsqueda de rayaduras y cambios de color, si hay presencia de estos errores se debe programar el cambio para el siguiente intervalo	8 meses	Técnico Mecánico

													Hoja de información RCM				
			Sistema						Código						Facilitador		Hoja N°
			Rectificadora sin centros M018						REG-M018								
			Subsistema						Auditor						de		
			Piedra Reguladora														
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias									Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
			EVIDENTES			OCULTAS			6	7	3	8					
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9		10	11				
		3	N				N	N	S	N	S						Tarea programada de restauración: Desmontar el compartimento del husillo y revisar la pista externa de los rodamientos en búsqueda de rayaduras y cambios de color, si hay presencia de estos errores se debe programar el cambio para el siguiente intervalo
	B	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Revisar el ajuste de los componentes de la transmisión, tensión de las correas, alineación de las poleas y el rotor del motor, lubricación de los rodamientos, montaje del motor.	8 meses	Técnico Mecánico	
		2	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Revisar el estado de los engranajes de la caja de cambio, limpiar la suciedad acumulada y lubricar nuevamente	8 meses	Técnico Mecánico	
3	A	1	N				S			N	S			Tarea programada de restauración: Aplicar con el torquimetro una fuerza de apriete equivalente a 30 libras fuerza en cada tornillo siguiendo el patrón de estrella	7 meses	Técnico Mecánico	
		2	N				S			N	S			Tarea de restauración programada: Aplicar a los tornillos una capa delgada de grasa antes de colocarlos en la brida, en caso de que se observe corrosión el tornillo deberá ser cambiado	7 meses	Técnico Mecánico	
	B	1	N				N	N	S				S	Tarea de búsqueda de fallas: Revisar el estado del comparador de caratula	Según criterio del departamento de metrología	Departamento de metrología	

													Hoja de información RCM												
													Sistema				Código				Facilitador		Hoja N°		
													Rectificadora sin centros M018				REG-M018								
													Subsistema				Auditor				de				
													Piedra Reguladora												
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1		2		Acción a falta de		TAREA PROPUESTA				INTERVALO INICIAL		A REALIZARSE POR			
										4		5													
F			EVIDENTES			OCULTAS				6		7		3										8	
			A	B		C	D	E	F	G		9	10											11	
FF	MF		A	B		C	D	E	F	G		9	10												
		2	N					N	N	S										Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de alineación mediante la capacitación del mantenedor		Técnico mecánico			
4	A	1	N					N	N	S										Tarea programada de restauración: Permitir la rotación de la piedra durante 1 minuto después de apagar el sistema de refrigerante, para expulsar la humedad de la piedra	Al terminar labores	Operario			
		2	N					N	N	S										Tarea programada de restauración: Limpiar la montura de la piedra eliminando los sedimentos de suciedad impregnados	7 meses	Técnico mecánico			
		3	N					N	N	S										Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del procedimiento de balanceo mediante la capacitación del mantenedor		Técnico mecánico			
5	A	1	N					N	N	S										Mantenimiento no programado llevado a la falla: Cambiar la punta de diamante cuando se desgaste		Técnico mecánico			
		2	N					N	N	S										Tarea programada de restauración: Asear los rieles del carro diamantador y posteriormente lubricar	15 días	Auxiliar de mantenimiento			
		3	S	N	N	S		N	S											Tarea programada de restauración: Desmontar la carcasa del diamantador, realizar limpieza, retirar sedimentos y lubricar	8 meses	Técnico mecánico			


			Coordinación de mantenimiento mecánico										REV.: 0								
			Hoja de información RCM																		
			Sistema					Código					Facilitador		Hoja N°						
			Rectificadora sin centros M018					REG-M018													
			Subsistema										Auditor		de						
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1 2		Acción a falta de		TAREA PROPUESTA				INTERVALO INICIAL		A REALIZARSE POR	
			EVIDENTES			OCULTAS				4 5		3 8									
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10	11									
	B	1	S	N	N	S		N	N					Mantenimiento no programado: Mejorar la confiabilidad del diamantado capacitando el operario en la influencia de los parámetros de corte en la rugosidad de la piedra				Operario			
		2	N				N	N	N					Mantenimiento no programado: Mejorar la confiabilidad del diamantado capacitando el operario en la influencia de los parámetros de corte en la rugosidad de la piedra				Operario			
6	A	1	S	N	N	S		N	N					Mantenimiento no programado: Mejorar la confiabilidad del diamantado capacitando el operario en la influencia de los parámetros de corte en la rugosidad de la piedra				Operario			
								N	N					Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del proceso de perfilado de la piedra reguladora mediante la capacitación del operario				Operario			


Subsistema hidráulico de lubricación


													Hoja de información RCM				
			Sistema						Código						Facilitador		Hoja N°
			rectificadora sin centros M018						ACEH-M018								
			Subsistema												Auditor		de
			Hidráulico de lubricación														
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias									Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
			EVIDENTES			OCULTAS			1	2	3	8					
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	6	7	9	10				11
1	A	1	N				N	N	S	N	S				Tarea programada de restitución: Realizar una revisión y limpieza de las partes internas de las válvulas del sistema. Asegurando que contaminantes externos no ingresen a los elementos	1 año	Técnico hidráulico
		2	N				N	N	S	N	S				Tarea programada de descarte: Reemplazar el filtro usado	3 meses	Técnico hidráulico
		3	S	N	N	S				N	S				Tarea programada de restitución: Revisar el nivel de aceite en los visores de la máquina, que debe estar a 3/4 de altura. Si esta condición no se da se debe reportar a mantenimiento para su revisión y llenado	Al iniciar labores	Operario
		4	N				N	N	S	N	S				Tarea programada de restitución: Realizar una revisión y limpieza de las partes internas de la bomba, buscar rayaduras en la pista interna reemplazar el anillo en caso de que estas sean excesivas	1 año	Técnico hidráulico
		5	N				N	N	S	S					Tarea programada bajo condición: Realizar un análisis de aceite hidráulico para determinar el estado del mismo y desgaste en la maquinaria	1 año	Análisis externo
	B	1	N				N	N	S	N	N				Mantenimiento no programado Comprobar la presión en el manómetro y ajustar el taraje al valor de 1.04 kg/cm ²		Técnico hidráulico
		2	N				N	N	S	N	S				Tarea programada de restitución: Revisar el estado de la pista externa de los rodamientos de la bomba, alineación del acople y soldadura mecánica	8 meses	Técnico mecánico

													Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0
													Hoja de información RCM				
			Sistema				Código				Facilitador		Hoja N°				
			rectificadora sin centros M018				ACEH-M018										
													Subsistema		Auditor		de
													Hidráulico de lubricación				
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias									Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
			EVIDENTES			OCULTAS			1	2	3		8				
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10		11				
	C	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de descarte: reemplazar los sellos gastados de la bomba	1 año	Técnico hidráulico	
		2	N				N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Comprobar ubicación de los ductos de succión y retorno del sistema, evitando la recirculación directa del fluido. Instalar un bafle de separación en el tanque		Técnico hidráulico	
2	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Realizar una revisión, en las líneas de distribución y acoples en general, comprobar el estado de los elementos libres de obstrucciones o fugas, realizar cambios pertinentes	1 año	Técnico hidráulico	
3	A	1	N				N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Retornar el taraje de 1.04kg/cm ²		Técnico hidráulico	


Subsistema hidráulico de diamantado


													Hoja de información RCM											
													Sistema						Código			Facilitador		Hoja N°
													Rectificadora sin centros M018						DIAM.M018					
													Subsistema									Auditor		de
Sistema hidráulico de diamantado																								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias									Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR								
			EVIDENTES			OCULTAS			1	2	3		8											
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10	11												
1	A	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Realizar una revisión y limpieza de las partes internas de las válvulas del sistema. Asegurando que contaminantes externos no ingresen a los elementos	1 año	Técnico hidráulico								
		2	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de descarte: Reemplazar los filtros usados	3 meses	Técnico hidráulico								
		3	S	N	N	S				N	S			Tarea programada de restauración: Revisar el nivel de aceite en los visores de la máquina, que debe estar a 3/4 de altura. Si esta condición no se da se debe reportar a mantenimiento para su revisión y llenado	Al iniciar labores	Operario								
		4	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Realizar una revisión y limpieza de las partes internas de la bomba, buscar rayaduras en la pista interna reemplazar en caso de que estas sean excesivas	1 año	Técnico hidráulico								
		5	N				N	N	S	S				Tarea programada bajo condición: Realizar un análisis de aceite hidráulico para determinar el estado del mismo y desgaste en la maquinaria	1 año	Análisis externo								
		6	N				N	N	S	S				Tarea programado bajo condición: Realizar un análisis de aceite hidráulico para determinar el estado del mismo y desgaste de la maquinaria	1 año	Análisis externo								
	B	1	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Realizar una revisión y limpieza de las partes internas de las válvulas de control de caudal asegurando que contaminantes externos no ingresen a los elementos										

			Sistema										Código		Facilitador		Hoja N°				
			Rectificadora sin centros M018										DIAM.M018								
			Subsistema										Auditor		de						
			Sistema hidráulico de diamantado																		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1		2		Acción a falta de		TAREA PROPUESTA		INTERVALO INICIAL		A REALIZARSE POR	
										4		5									
		EVIDENTES			OCULTAS				6		7		3	8							
FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10	11										
		2	N					N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Ajustar el taraje de la válvula de control de caudal hasta 10.4 kg/cm ²		Técnico hidráulico				
		3	N					N	N	S	N	S			Trae programada de restauración: Revisar el estado de la pista externa de los rodamientos de la bomba, alineación del acople y soltura mecánica	1 año	Técnico hidráulico				
	C	1	N					N	N	S	N	S			Tarea programada de restauración: Realizar una revisión y limpieza de las partes internas de la bomba, reemplazar sellos. Buscar rayaduras en la pista interna y evaluar cambio de la bomba.	1 año	Técnico hidráulico				
2	A	1	S	N	N	S					N	S			Tarea programada de restauración: Revisar el estado de la válvula de control de caudal, limpiarla, verificar que sea de fácil ajuste y evitar el ingreso de suciedad durante la revisión	1 año	Técnico hidráulico				
		2	S	N	N	S					N	S			Mantenimiento programado de restauración: Asear los rieles del carro diamantador y posteriormente lubricar	1 año	Técnico hidráulico				
		3	N					N	N	S					Tarea programada de restauración: Revisar el estado de la válvula direccional, limpiarla, verificar su correcto desplazamiento y evitar el ingreso de suciedad durante la revisión	1 año	Técnico hidráulico				
	B	1	N					N	N	S	N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Sustituir el carrete de la válvula direccional, limpiar el casquillo y asegurar que no ingrese suciedad durante la reparación						

													Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0
													Hoja de información RCM			
 LAVCO <i>Liderazgo metalmeccánico</i>			Sistema						Código				Facilitador		Hoja N°	
			Rectificadora sin centros M018						DIAM.M018							
			Subsistema										Auditor		de	
			Sistema hidráulico de diamantado													
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias									Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
			EVIDENTES			OCULTAS			1	2	3		8			
F	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10		11			
3	A	1	N				N	N	S	N	S			Mantenimiento programado de restauración: Revisar el estado de las líneas de distribución, observar que estén libres de obstrucciones y fugas, buscar rupturas y realizar su reemplazo	1 año	Técnico hidráulico
		2	N				N	N	S	N	S			Tarea programada de descarte: Reemplazar sellos	1 año	Técnico hidráulico


Subsistema eléctrico

													Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0						
													Hoja de información RCM									
													Sistema			Código			Facilitador			Hoja N°
													Rectificadora sin centros M018			ELECS-M018						
													Subsistema						Auditor			de
													Subsistema eléctrico									
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR						
										4	5											
F FF MF			EVIDENTES			OCULTAS				6	7	3	8	11								
			A	B	C	D	E	F	G	9	10											
1	A	1	S	N	N	S					N	S			Tarea programada de restauración: Realizar una inspección de conductividad entre los bornes del y de ajuste de los mismos, limpiar polvo y realizar prueba de funcionamiento. A presencia de anomalía reemplazar el elemento	4 meses	Técnico electricista					
		2	N				N	N	S	N	S				Tarea programada de restauración: Realizar una inspección de conductividad entre los bornes del contactor y de ajuste de los mismos, limpiar polvo y realizar prueba de funcionamiento. A presencia de anomalía reemplazar el elemento	4 meses	Técnico electricista					
		3	N				S			N	S				Tarea programada de restauración: Ajustar las conexiones de relé, limpiar y verificar aislamientos	4 meses	Técnico electricista					
		4	N				S			N	S				Tarea programada de restauración: Verificar el ajuste de las tapas del motor, limpiar externamente, realizar la lubricación de los rodamientos.	6 meses	Técnico electricista y un auxiliar					
		5	N				N	N	S	N	S				Tarea programada de restauración: Verificar los bornes del motor que estén libres de corrosión y suciedad realizar respectivos ajustes	6 meses	Técnico electricista y un auxiliar					
		6	N				S			N	S				Tarea programada de restauración: Verificar el estado de los devanados del motor, restaurando su aislamiento.	2 años	Técnico electricista y un auxiliar					
		7	N				S								Tarea programada de restauración: Verificar el estado de los cables de conexión, comprobar el estado de los aislamientos y la conductividad	4 meses	Técnico electricista					

													Hoja de información RCM								
			Sistema						Código				Facilitador		Hoja N°						
			Rectificadora sin centros M018						ELECS-M018												
			Subsistema										Auditor		de						
			Subsistema eléctrico																		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1		2		Acción a falta de		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR			
										4		5									
F			EVIDENTES			OCULTAS				6		7		3					8		
													9						10		11
			B	1	N					N	N	S	N	S							
			B	1	N					N	N	S	N	S					Tarea programada de restauración: Limpiar los rodamientos de los motores y posteriormente lubricar utilizando el tipo y cantidad de grasa adecuada	6 meses	Técnico electricista y un auxiliar
				2	N					N	N	S	N	S					Tarea programada de restauración: Realizar una limpieza profunda de los motores utilizando brocha y paños, buscando retirar la suciedad de la carcasa, interior del motor cajas de conexión, bobinas y sistema de refrigeración.	2 años	Técnico electricista y un auxiliar
				3	N					N	N	S	N	S					Tarea programada de restauración: Verificar la alineación paralela y concéntrica a no más de 0.05mm y la angular a no más de 0,03mm	8 meses	Técnico mecánico
				4	N					N	N	S	N	S					Tarea programada de restauración: Verificar y ajustar las bases del motor evitando la vibración remanente.	2 años	Técnico electricista y un auxiliar
2	A	1	N							N	N	S							Tarea programada de restauración: Realizar una inspección de conductividad entre los bornes del interruptor y de ajuste de los mismos. A presencia de anomalía reemplazar el elemento	4 meses	Técnico electricista
				2	N					N	N	S	N	N					Mantenimiento no programado cambio de una vez: Reemplazar el flotador en caso de rotura		Técnico hidráulico
3	A	1	S	S									N	S					Tarea programada de restauración: Revisar que los gabinetes de la acometida eléctrica permanezcan cerrados	Al iniciar labores	Operario
				2	N					S			N	N					Mantenimiento no programado cambio de una vez: Realizar una puesta a tierra, para todos los motores de la maquina		Técnico electricista

													Coordinación de mantenimiento mecánico			REV.: 0			
													Hoja de información RCM						
			Sistema				Código				Facilitador				Hoja N°				
			Rectificadora sin centros M018				ELECS-M018												
													Subsistema				Auditor		de
													Subsistema eléctrico						
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA		INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR		
										4	5							6	7
F	FF	MF	EVIDENTES			OCULTAS				9	10	11							
A	B	C	D	E	F	G	9	10	3	11									
		3	S	S						N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Señalizar las zonas de riesgo eléctrico en la máquina y alrededores		Técnico electricista			
		4	N				S			N	N		S	Tarea de búsqueda de fallas: rehabilitar el botón de parada de emergencia y realizar su inspección accionándolo. En caso de falla informar al departamento de mantenimiento	1 vez a la semana	Operario			
4	A	1	S	S						N	S			Tarea programada de restauración: Revisar las conexiones del amperímetro y comprobar su funcionamiento	4 meses	Técnico electricista			
		2	S	S						N	N			Tarea programada de restauración: Revisar que el amperímetro no supere 50 A	cada vez que mueva la reguladora	Operario			

Otros

													Coordinación de mantenimiento mecánico				REV.: 0								
													Hoja de información RCM												
			Sistema						Código				Facilitador		Hoja N°										
			Rectificadora sin centros M018						OTRS-M018																
			Subsistema										Auditor		de										
			Otros																						
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias							1	2	Acción a falta de		TAREA PROPUESTA				INTERVALO INICIAL		A REALIZARSE POR					
										4	5														
F			EVIDENTES			OCULTAS				6	7	3	8												
			A	B	C	D	E	F	G	9	10		11												
1	FF	MF	A	B	C	D	E	F	G	9	10			Mantenimiento programado de restauración: Ajustar la altura de la reglilla bajo los parámetros establecidos de acuerdo al diámetro de la pieza				Cada cambio de lote	Operario						
2	A	1	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento programado de restauración: Realizar una limpieza de la reglilla, Verificar el estado del ángulo, desgaste de las guías y resortes de restitución. Rectificar o fabricar en dado caso				1 mes	Técnico mecánico						
3	A	1	S	N	N	S				N	N			Mantenimiento no programado cambio de una vez: Mejorar la confiabilidad del proceso de ajuste de las guías de la reglilla mediante capacitación del operario					Operario						
4	A	1	S	S						N	S			Mantenimiento programado de restauración: Verificar el estado de la totalidad de las guardas de la máquina, procurando que estén bien ajustadas.				Al iniciar labores	Operario						