

**DISEÑO DE UN MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
MONITOREO EN LÍNEA DE LA OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS
DE MECANIZADO DEL SENA**

**ALDO JOSÉ SILVERA SERRANO
MIGUEL ÁNGEL TORRES MARTÍNEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO - MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

**DISEÑO DE UN MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
MONITOREO EN LÍNEA DE LA OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS
DE MECANIZADO DEL SENA**

**ALDO JOSÉ SILVERA SERRANO
MIGUEL ÁNGEL TORRES MARTÍNEZ**

**Monografía de Grado como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director:
ARMSTRONG HERNÁNDEZ PALLARES
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO - MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

CONTENIDO

	Pág.
1. CONTEXTUALIZACIÓN	15
1.1 RESEÑA HISTÓRICA	15
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA MISIÓN	17
1.3 ORGANIGRAMA	17
1.4 TALLERES DE MECANIZADO	18
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.6 JUSTIFICACIÓN	20
1.7 OBJETIVOS	21
1.8 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	21
2. MARCO TEÓRICO	22
2.1 MANTENIMIENTO E HISTORIA DEL RCM	23
2.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	25
2.3 BENEFICIOS Y LOGROS DEL RCM	26
2.4 MÉTODO DE IMPLEMENTACIÓN DE RCM	27
2.4.1 Función y parámetro de funcionamiento	27
2.4.2 Fallas funcionales	31
2.4.3 Modos de falla	33
2.4.4 Efectos de falla	39
2.4.5 Consecuencias de la falla	40
2.4.6 Falla evidente	40
2.4.7 Falla oculta	41
2.4.8 Consecuencias de fallas ocultas	45
2.4.9 Tareas preventivas	48
2.4.10 Tareas predictivas	49
2.4.11 Acciones “a falta de”	51
2.4.12 Tareas de búsqueda de fallas	51
2.4.13 Ningún mantenimiento programado	52
2.4.14 El diagrama de decisión de RCM	53

2.5	SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE DATOS (SCADA)	55
2.5.1	Funciones principales del sistema:	56
2.5.2	Transmisión de La Información	57
2.6	SENSORES	59
2.6.1	Sensores de temperatura	59
2.6.2	Termopares	59
2.6.3	Resistive Temperature Detector (RTD)	60
2.6.3.1	Termistor	61
2.6.4	Sensores de flujo	61
2.6.4.1	Flujómetro Electromagnético	61
2.6.4.2	Turbina	62
2.6.4.3	Medidores de caudal por Ultrasonido	62
2.7	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC)	63
2.8	COMUNICACIÓN E INTERFACES	64
2.9	LUBRICACIÓN	65
2.9.1	Lubricantes	65
2.9.2	Influencia de la temperatura en la lubricación	67
3.	PROPUESTA	69
3.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA O PROCESO POR MEJORAR	69
3.2	SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA	80
3.3.1	Sensores	80
3.3.2	Controlador lógico programable PLC	81
3.3.3	Comunicaciones	82
3.3.4	Interfaz grafica humana (HMI)	83
3.2.5	Manejo de la información	85
4.	COSTOS Y PRESUPUESTOS	89
	CONCLUSIONES	90
	BIBLIOGRAFÍA	91

FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica SENA Colombo Alemán	16
Figura 2. Estructura organizacional	17
Figura 3. Taller de mecanizado.....	19
Figura 4. Falla funcional.....	32
Figura 5. Patrones de fallas	35
Figura 6. Modos de fallas, categoría 1	37
Figura 7. Modos de fallas, categoría 2.....	38
Figura 8. Modos de fallas, categoría 3.....	38
Figura 9. Diagrama de decisión de una estrategia de mantenimiento para una falla que afecta la seguridad y el medio ambiente.....	42
Figura 10. Matriz de decisión para fallas con consecuencias operacionales.....	44
Figura 11. Matriz de decisión para fallas ocultas	48
Figura 12. Curva P-F	50
Figura 13. Termopar	60
Figura 14. Tipos de RTD.....	61
Figura 15. Termistor.....	61
Figura 16. Modelos de caudalímetros digitales.....	62
Figura 17. Variación de la viscosidad con la temperatura.....	68
Figura 18. Matriz de criticidad	70
Figura 19. Clasificación de equipos por criticidad	72
Figura 20. Equipo piloto para prueba del modelo	73
Figura 21. Estructura del sistema de monitoreo en línea.....	79
Figura 22. Explorador software SCADA – diseño de variables a monitorear.....	81
Figura 23. Programación del PLC en SIMATIC - Diagrama de bloques.	82
Figura 24. Interfaz grafica del modelo estado apagado software de diseño	84
Figura 25. Interfaz grafica del modelo estado funcionamiento software SCADA (Wincc).....	85

TABLAS

	pág.
Tabla 1. Modos de fallas típicos.....	34
Tabla 2. Tabla de cuantificación de parámetros	69
Tabla 3. . Evaluación de criticidad de equipos	71
Tabla 4. Definición de funciones por especialidad participantes del proyecto	74
Tabla 5. . Hoja de datos fresadora klopp	76
Tabla 6. Hoja de información RCM2 fresadora klopp	77
Tabla 7. Hoja de decisión RCM ²	78
Tabla 8. Listado de sensores	80
Tabla 9. Cantidad de enlaces soportados por los módulos Ethernet (CP 243--1) e Internet (CP 243--1 IT).....	83
Tabla 10. Resumen de futuras variables a monitorear por equipos.....	86
Tabla 11. Costos de la implementación del modelo para un solo equipo	89

ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Hoja de datos RCM 2.....	94
ANEXO B. Hoja de información RCM II	95
ANEXO C. Hoja de decisión RCM II	96
ANEXO D. Diagrama de decisión RCM2	97
ANEXO E. Ficha técnica PLC SIEMENS S7-200	98
ANEXO F. Ficha técnica sensor de flujo	103
ANEXO G. Sensor de temperatura PT100.....	104

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UN MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MONITOREO EN LÍNEA DE LA OPERACIÓN DE LOS EQUIPO DE MECANIZADO DEL SENA*

AUTORES: ALDO JOSÉ SILVERA, MIGUEL ÁNGEL TORRES MARTÍNEZ**

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento centrado en confiabilidad, RCM, Monitoreo en línea, PLC

DESCRIPCIÓN:

El siguiente proyecto es un trabajo de aplicación que consiste básicamente en un modelo para implementar un sistema de monitoreo en línea en las máquinas herramientas del taller de mecanizado del centro nacional colombo alemán de la regional Atlántico. Para poder llevarlo a cabo, se ha tomado como fundamento la estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, para determinar los modos de fallas más representativos de un equipo perteneciente a la familia de máquinas herramientas, en este caso una fresadora Klopp, la cual ha sido evaluada y clasificada como equipo crítico para el proceso de formación en el SENA regional Atlántico. A través del diagrama de decisión de RCM2, se determinaron los modos de fallas susceptibles de monitoreo los cuales han sido relacionados con la medición de unas variables de control como son la temperatura, las RPM y el flujo. Estas variables de control han sido capturadas a través de sensores y estas a su vez han sido llevada por medio de un PLC al computador y programadas con un software de adquisición y supervisión de datos SCADA.

Para realizar la monografía se hizo necesario trabajar tres capítulos donde en el primero, se hizo una contextualización del desarrollo del trabajo. En el segundo todo el marco teórico en el cual se documenta lo relacionado con la metodología de implementación RCM, los sistemas SCADA y la importancia de temperatura en la lubricación. Y finalizando con el costo de la implementación del sistema de monitoreo para un equipo.

* Monografía.

** Facultad de ingeniería Físico-Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Armstrong Hernández Pallares, Ingeniero Mecánico.

SUMMARY

TITLE: DESIGN OF A MODEL FOR THE IMPLEMENTATION OF AN ONLINE MONITORING THE OPERATION OF MACHINING EQUIPMENT SENA *

AUTHORS: ALDO JOSÉ SILVERA SERRANO, MIGUEL ÁNGEL TORRES MARTÍNEZ**

KEY WORDS: Reliability centered Maintenance, RCM, Online monitoring, PLC.

SUBJECT:

The next project is an application which is basically a model to implement an on line monitoring system in machine - tools of workshop of machining in the Colombian-German National of Atlantic regional. To carry it out, is taken as the foundation's strategy RCM (Reliability Centered Maintenance), to determine the most representative failure modes of equipment belonging to the family of machine tools, in this case a Klopp Milling, which has been evaluated and classified as critical equipment for the training process in the Atlantic regional SENA. Through RCM2 decision chart, identified failures modes susceptible monitoring which have been associated with a measurement control variables such as temperature, RPM and flow. These control variables have been captured through sensors and these in turn have been carried by a PLC to the computer and programmed with software data acquisition and monitoring SCADA.

To perform the necessary paper work was done in three chapters where the first, took a contextualization of the development work. In the second all the theoretical framework in which it is documented related RCM implementation methodology, SCADA systems and the importance of temperature lubrication. And ending, with the cost of implementation of the monitoring system in only one equipment.

* Monograph

** Mechanical Engineering School. Maintenance Management Specialization. Director: Armstrong Hernandez Pallares, Mechanical Engineer.

DEDICATORIA

A Dios principalmente por acompañarme e iluminarme durante esta y todas las etapas de mi vida.

A mi esposa por su amor, paciencia, apoyo y comprensión.

A mis tres pequeñas Marie Jane, Jennifer y Valery por prestarme parte de su tiempo para dedicarme a este proyecto

A mi Hermana Yolanda por su apoyo incondicional y por creer siempre en mí.

A mi madre por su infinito amor y por impulsarme siempre a conseguir mis metas.

A toda mi familia por confiar plenamente en mí

ALDO SILVERA

A Sara Lucia Martínez mi madre, por sus grandes y valiosos consejos, que me han impulsado en la mejora continua.

A Rosaura Vargas en reposición de la atención que por el desarrollo de esta monografía le he quitado.

MIGUEL ÁNGEL TORRES

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a los instructores de mecatrónica y de desarrollo de software del SENA que nos acompañaron en el desarrollo del proyecto. De igual manera a los aprendices del programa de mantenimiento electromecánico, automatización y diseño de software.

Agradezco también a la UIS y a sus docentes por toda la información y el conocimiento transferido.

Por ultimo también agradecemos al director de este proyecto ingeniero Armstrong Hernández por su colaboración.

ALDO SILVERA

A Dios por darme la salud, el conocimiento y los medios económicos para hacer posible este sueño.

Agradezco al personal administrativo de la UAS Palas Cables de Cerrejón Limited José Ochoa y Enrique García, por su apoyo en el logro de este objetivo.

A mi compañero de proyecto Aldo Silvera por su disposición y dedicación en la elaboración de esta monografía.

A nuestro director de proyecto ingeniero Armstrong Hernández por su colaboración.

MIGUEL TORRES

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

El SENA nació durante el Gobierno de la Junta Militar, posterior a la renuncia del General Gustavo Rojas Pinilla, mediante el Decreto-Ley 118, del 21 de junio de 1957. Sus funciones, definidas en el Decreto 164 del 6 de agosto de 1957, eran brindar formación profesional a los trabajadores, jóvenes y adultos de la industria, el comercio, la agricultura, la minería y la ganadería. Así mismo, su fin era proporcionar instrucción técnica al empleado, formación acelerada para los adultos y ayudarles a los empleadores y trabajadores a establecer un sistema nacional de aprendizaje. Además, organizar y mantener la enseñanza teórica y práctica relacionada con diferentes oficios; seleccionar los candidatos al aprendizaje; realizar cursos complementarios de preparación, perfeccionamiento y adiestramiento para trabajadores técnicos; y contribuir con el desarrollo de investigaciones relacionadas con la organización científica, entre otras.

La entidad tripartita, en la cual participarían trabajadores, empleadores y Gobierno, se llamó Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) y surgió en el momento indicado. La industria pretendía conquistar nuevos mercados y necesitaba más trabajadores y mejor calificados, métodos modernos y cambios drásticos en la productividad.

El nombre, SENA, lo escogió Martínez Tono, quien admiraba el río Sena que cruza a París, la ciudad luz, capital de Francia, donde estudió aspectos relacionados con la formación profesional.

Antes de cumplir 30 años, Rodolfo Martínez, convirtió su tesis de grado, "La Formación Profesional en el Marco de una Política de Empleo", en el SENA, institución a la cual estuvo vinculado durante 17 años, desde su creación en 1957,

Hasta el cambio de dirección propuesto por el presidente Alfonso López Michelsen en 1974.

Estaba convencido de que sin capacitación del talento humano no habría desarrollo. Por eso aprovechó las becas de la OIT para conocer las experiencias en formación profesional acelerada implementadas en Europa después de la Segunda Guerra Mundial y el apoyo de ese organismo con expertos que vinieron a Colombia. La naciente entidad no solo formaba técnicos, sino también empresarios y promovía las pequeñas y medianas empresas.¹

El SENA, Centro Nacional Colombo Alemán es un centro de formación técnica para el trabajo de los 115 centros a nivel nacional, con tecnologías propias en las áreas de automatización y metalmecánica. Esta ubicado en la ciudad de Barranquilla en la calle 30 autopista al aeropuerto, en una posición estratégica para dar respuesta a las industria local y nacional en diferentes fuentes del conocimiento.

Figura 1. Ubicación geográfica SENA Colombo Alemán



Fuente: Google Earth

¹ Citado 17 julio de 2012. Disponible en < <http://www.sena.edu.co/Portal/El+SENA/Historia/>>

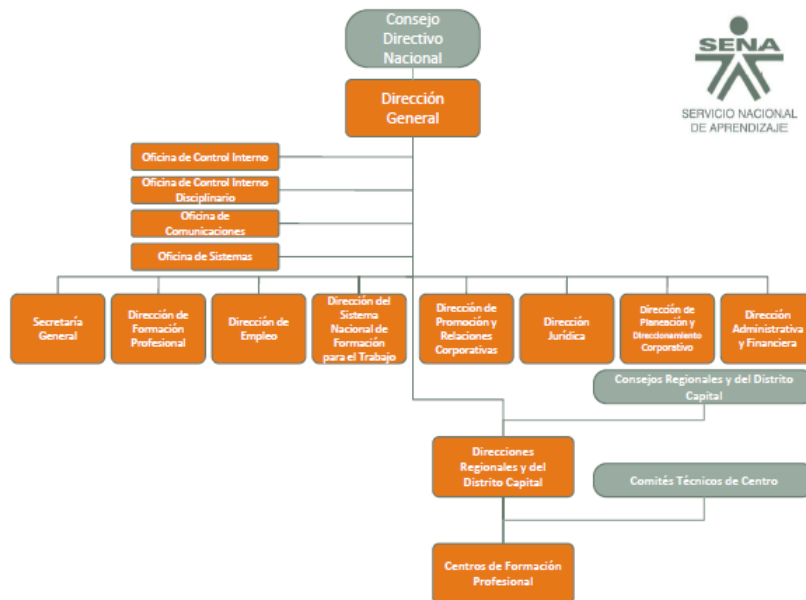
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA MISIÓN

El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) se encarga de cumplir la función que le corresponde al Estado de invertir en el desarrollo social y técnico de los trabajadores colombianos, ofreciendo y ejecutando la Formación Profesional Integral gratuita, para la incorporación y el desarrollo de las personas en actividades productivas que contribuyan al desarrollo social, económico y tecnológico del país.

1.3 ORGANIGRAMA

El servicio nacional de aprendizaje SENA, esta organizado actualmente como se muestra en la figura 2

Figura 2. Estructura organizacional



Fuente: <http://www.sena.edu.co>

1.4 TALLERES DE MECANIZADO

En el interior de esta sede se encuentra el taller de mecanizado ubicado en el ambiente de Diseño, manufactura y mantenimiento. Cada trimestre se forma alrededor de 125 aprendices entre las especialidades de mantenimiento, mecanizado por arranque de viruta, aseguramiento metrológico y otros. Dentro del taller denominado Taller de mantenimiento No2, se encuentran un considerable número de máquinas tal como se muestra en la tabla 1. El listado de los equipos presentes en el hace parte vital de la cadena de formación que arranca en el área de diseño y la zona de mecanizado convencional y CNC. En total 38 maquinas que están al servicio de la institucional en diferentes programas de formación y en algunos casos forman parte de casi la totalidad de la carrera de algunos programas como es el técnico en mecanizado de productos metalmecánicos. Son estos los principales usuarios de los equipos. Y por ser equipos que se requieren en las tres jornadas se requiere gran disponibilidad de los mismos.

Tabla 1. Listado maestro de equipos taller de mecanizado

NOMBRE DEL EQUIPO	CANT	MARCA
Fresadora	5	Klopp
Fresadora	2	MRF
Fresadora	1	DECKEL
Torno	5	EMCO
Torno convencional	3	Maximat
Taladro	1	Solid
Taladro	1	Alzmetal
Cepillos mecánicos	3	Klopp
Taladro radial	1	NA
Torno revolver	1	Ramco
Torno revolver	1	Jator
Torno CNC industrial	1	CAK5085di
Torno CNC	5	Ck 6032
Torno CNC	1	EMCO 342
Torno CNC	1	EMCO 155

Fresadora CNC	1	EMCO mill 155
Fresadora 4 ejes	1	XHS7145
Fresadora 5 ejes	1	VHP800
Fresadora 3 ejes CNC	5	XK7132
Total equipos	38	
Fuente: los autores		

Figura 3. Taller de mecanizado



Fuente: los Autores

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las máquinas y equipos del SENA – Centro Nacional Colombo Alemán han sido por mucho tiempo intervenidos en planes de mantenimiento no organizados o realizados de manera informal, ocasionando que los registros de operación y mantenimiento de las maquinas no se lleven de manera correcta y en algunos casos la información se pierda, de tal forma que los históricos de las máquinas en las hojas de vida de los equipos, algunas veces ausentes, representan muy poco criterio para la planeación de actividades de mantenimiento que brinden una trazabilidad aceptable en la maquinaria anteriormente mencionada. A demás, muchos de los planes de mantenimiento que se llevaban a cabo eran basados en el tiempo y no en la condición del equipo en ese momento.

La maquinaria con que se cuenta actualmente en los talleres de mecanizado por arranque de viruta, que en su mayoría son, máquinas herramientas CNC, tornos convencionales, fresadoras universales y horizontales, cepillos mecánicos, taladros radiales y de columna, entre otros; llevan en su mayoría más de 10 años prestando sus servicios a la formación académica y se encuentran aun operando. Pero, cuando se requiere saber si el equipo presenta una falla o está comenzando a presentar algún problema de funcionamiento, no es posible determinar cuál es el estado real, y la condición del equipo está supeditada al criterio del operador y a la potestad de que éste informe a su instructor, quien en este caso es el responsable del área.

Bajo esta circunstancia, muchas veces no pueden tomarse decisiones de intervenciones de mantenimiento oportunas, porque las fallas son detectadas casi en el momento en que su reparación es inminente, o cuando el equipo queda fuera de servicio. Disminuyendo la capacidad de atención a la formación, requiriendo un tiempo de reparación aun mayor y aumentando por supuesto, el costo de mantenimiento.

1.6 JUSTIFICACIÓN

Con el actual proyecto se desea establecer un modelo de sistema a seguir por el Centro nacional Colombo Alemán con la finalidad de enfocar futuros sistemas de mantenimiento acorde a las exigencias de Clase mundial para que no se detengan sus procesos de formación, pretendiendo de acuerdo con la metodología por proyectos del SENA, que el mantenimiento sea programado y controlado en base al modelo a plantear del centro de monitoreo en línea.

Realizar estrategias como el RCM, tendrá una mejor viabilidad, debido a que los datos en tiempo real son más efectivos y oportunos que con el método convencional de planillas y a su vez se contribuye con la política ambiental

Eliminando la utilización excesiva de papel. También proporcionará las bases iniciales para el desarrollo e implementación de estrategias de mantenimiento modernas. Además administrar la operación y el mantenimiento, a través de un software de mantenimiento, permitirá a los encargados de mantenimiento revisar las variables de mantenimiento en tiempo real y tomar decisiones oportunas sobre la ejecución del mantenimiento.

Se delimita esta investigación inicialmente al taller de mecanizado donde se cuenta con número significativo de equipos necesarios para la formación de aprendices y además por ser equipos de alto costo inicial y de tecnología apreciable, dando la posibilidad de extender el estudio a otras áreas de interés que la administración de la institución determine.

El monitoreo de los equipos se realizará de manera local a través de un computador remoto, con la visión futura de extenderla a la WEB a través de un software CMMS.

1.7 OBJETIVOS

Desarrollar un modelo para el monitoreo de la operación de las máquinas y los equipos del SENA - Centro Nacional Colombo Alemán.

1.8 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Clasificar los equipos basados en la criticidad de los mismos.
- Analizar y evaluar los efectos de fallas basados en la metodología RCM².
- Definir los parámetros para la selección de instrumentos indicadores de las variables principales de operación.
- Simular el comportamiento en tiempo real de las variables de control de un equipo de mecanizado a través de un software SCADA.

2. MARCO TEÓRICO

Uno de los retos tanto de la industria moderna como en las empresas es el control de sus equipos. En la actualidad, establecer la eficiencia en los procedimientos de producción en aspectos como calidad y tiempo de entrega son aspectos tan importantes que a veces pueden definir el éxito o fracaso de una empresa, sobre todo cuando se depende de la habilidad de las personas y de la efectividad de los equipos. Incluso, enterarse de lo que sucede con los equipos en tiempo real es indispensable para la toma estratégica de decisiones.

Los sistemas de control y monitoreo en línea presentan grandes beneficios tanto a la industria, los negocios y las diversas instituciones relacionadas con el control de calidad, la supervisión de procesos ó la investigación. La industria encuentra en este tipo de sistema la manera ideal de monitorear procesos como: líneas de producción, desde la hora de llegada del personal, medir su tiempo de producción hasta desplegar alertas cuando fallen componentes de una máquina que puedan poner en riesgo la integridad operacional.

Esta investigación se fundamenta bajo el concepto de mantenimiento basado en la condición CBM, relacionado con la necesidad de realizar una actividad de mantenimiento dependiendo del estado o la condición en la que se encuentre el equipo en ese momento y en base a su comportamiento poder definir una tendencia de operación.

Para formar aprendices competentes que exige el mundo moderno y en donde las economías se encuentran dentro de un entorno global, los equipos de las instituciones como el SENA, no solamente deben precisar una alta disponibilidad de sus procesos y equipos, sino también una alta confiabilidad de los mismos, para suministrar a las empresas personal entrenado de acuerdo con la demanda nacional e internacional.

2.1 MANTENIMIENTO E HISTORIA DEL RCM

Con la evolución o desarrollo de la industria y la tecnología, se aumentaron los costos de mantenimiento, surgiendo un nuevo desafío, el de identificar cuáles de las técnicas surgidas de la evolución del mantenimiento entre las que encontramos el mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y el correctivo, era la más adecuada para garantizar el redimiendo de los activos y la reducción de los costos de mantenimiento.

²La primera industria que enfrento estos desafíos sistemáticamente fue la industria de la aviación comercial. El elemento crucial que provoco esta reacción, fue el darse cuenta que se debe dedicar tanto esfuerzo en asegurarse que se están realizando las tareas correctamente como en asegurarse que se están haciendo las tareas correctas. Lo anterior debido a que el enfoque tradicional de los planes de mantenimiento programados se basa en el concepto de que cada ítem que forma parte de un equipo complejo tiene una edad cierta a la cual es necesario un reemplazo completo para asegurar la confiabilidad en seguridad y operatividad. Sin embargo, a través de los años, se descubrió que muchos tipos de fallas no podrían ser prevenidas o reducidas en forma efectiva por tales actividades de mantenimiento, sin importar cuán intensamente fueran realizadas. En respuesta a este problema, los diseñadores de aviones comenzaron a desarrollara características de diseño que redujeron las consecuencias de las fallas es decir, aprendieron como diseñar aviones que fueran tolerantes a las fallas. Practicas tales como la duplicación de sistemas, el uso de varios motores y el diseño de estructuras resistentes a los daños, redujeron sensiblemente la relación entre seguridad y confiabilidad, aunque la misma no haya sido eliminada del todo.

A finales de los 50's, el tamaño de las líneas aéreas comerciales había crecido a un punto tal, que existían datos suficientes para estudiar y el costo de las

² MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. North Carolina: Aladon LLC, 2004. p 3

Actividades de mantenimiento era lo suficientemente alto como para justificar una investigación de los resultados reales de las prácticas existentes. Al mismo tiempo la agencia Federal de Aviación que era la responsable de regular las prácticas de mantenimiento de las aerolíneas, estaban decepcionadas por las experiencias que mostraban que no era posible controlar la tasa de fallas de ciertos tipos de máquinas no confiables por medio de cambios en el contenido o frecuencias de los reemplazos programados. Como consecuencia, en 1960 se formó un grupo de trabajo que incluía representantes de la Agencia Federal de Aviación y de las aerolíneas, para investigar las capacidades del mantenimiento preventivo.

Del anterior estudio se descubrió dos características.

- El reemplazo programado tiene poco efecto en la confiabilidad total de un ítem complejo a menos que el mismo tenga un modo de falla dominante.
- Hay muchos ítems para los cuales no existe una forma efectiva de mantenimiento programado.

El paso siguiente fue un intento por organizar lo que se aprendió de los diversos programas de confiabilidad para desarrollar un enfoque lógico y de aplicación general para el diseño de programas de mantenimiento preventivo. En 1965, se ideó una técnica rudimentaria del diagrama de decisiones y en 1967 se presentó un informe sobre su aplicación en el encuentro de la AIAA para el Diseño y Operación de la Aviación Comercial. Refinamientos posteriores de la técnica fueron englobados en un manual de desarrollo y evaluación de programas de mantenimiento, delineados por un grupo guía de mantenimiento formado para dirigir el desarrollo del programa inicial del nuevo avión Boeing 747. Este documento conocido como MSG-1, fue usado por equipos especiales de personal de la industria y de la AFA para desarrollar el primer plan de mantenimiento programado basado en los principios de RCM.

Dos años más tarde es incorporado en un segundo documento los mejoramientos obtenidos con la técnica del diagrama de decisión, este documento es llamado MSG-2: Documento de los fabricantes de aviones para el planeamiento de un programa de mantenimiento.

El MSG-2 fue usado para desarrollar el mantenimiento programado de los aviones Lockheed 1011 y Douglas Dc 10. Estos programas también fueron exitosos. El MSG-2 también se aplicó a la aviación militar; las primeras aplicaciones fueron a aparatos tales como los Lockheed S-3 y P-3 y el MacDonell F4J.

El objetivo de las técnicas en MSG-1y MSG-2 fue desarrollar un programa de mantenimiento cíclico que asegurara la máxima seguridad y confiabilidad de la que fuera capaz el equipo con el menor costo.

En 1974, el departamento de Defensa de los Estados Unidos comisionó a United Airlines para preparar un informe sobre los procesos usados por la industria de la aviación civil para elaborar un programa de mantenimiento para los aviones. El informe resultante fue titulado Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

2.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es definido por John Moubray como un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional³.

Como vemos RCM nos permite evaluar un sistema específico, determinado la función y estipulando las fallas que podrán ocurrir, teniendo en cuenta el contexto operacional o entorno de trabajo, estableciendo los diferentes eventos que pueden causar la falla del sistema y estableciendo lo que sucede al producirse cada evento o modo de falla, de tal manera que se pueda valorar el impacto para establecer la acción más apropiada a seguir.

³ MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. North Carolina: Aladon LLC, 2004. p 7

2.3 BENEFICIOS Y LOGROS DEL RCM⁴

- Preservar las funciones
- Evitar, reducir o eliminar las consecuencias de las fallas
- Construir defensas costo efectivas contra las fallas
- Aceptar las ocurrencias de algunas fallas
- Priorizar las técnicas predictivas (monitoreo)
- Extender la vida de los equipos
- Evaluar las fallas no solo por el envejecimiento del equipo, por ello se debe utilizar monitoreos de condición.
- Definir la frecuencia de las tareas predictivas basadas en los periodos de evolución de las fallas.
- Trabajar todos los aspectos del negocio: Finanzas, operación, riesgo, seguridad, medio ambiente, uso eficiente de la energía y la calidad.
- Desarrollar los programas de mantenimiento según las condiciones operativas, mantenibilidad, condiciones ambientales, requerimientos del cliente y exigencias regulatorias.
- Balancear los costos de mantenimiento con la confiabilidad del servicio.
- Apreciar la efectividad de las alternativas de mantenimiento
- Mejorar la habilidad para planear el mantenimiento
- Administración más efectiva de los recursos limitados
- Definir y priorizar el tipo de tarea de mantenimiento necesaria según la función del equipo en el sistema.
- Enfocar el mantenimiento en el escenario de alta consecuencia de falla de equipo.
- Sentido de pertenecía y mayor motivación del personal

⁴ ORTIZ, Daniel. Memorias Clase Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. UIS. Barranquilla 2012.

- Lenguaje técnico apropiado para analizar los problemas y tomar decisiones
- Propiciar el trabajo en equipo al interior de los grupos de mantenimiento y su relación con los otros procesos.

2.4 MÉTODO DE IMPLEMENTACIÓN DE RCM

La metodología RCM, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de siete preguntas⁵:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su contexto operacional?
2. ¿De qué manera pueden fallar?
3. ¿Qué origina la falla?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Se puede hacer algo para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué pasa si no podemos prevenir la falla?

2.4.1 Función y parámetro de funcionamiento: El primer paso del RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseado.

Con el fin de establecer la función del equipo o del activo, se requiere definir previamente las fronteras e interfaces, y los estándares de funcionamiento:

⁵ AMENDOLA, Luis José. Gestión de Proyectos de activos Industriales. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2006. p 63.

Estándares de funcionamiento múltiple: cuando en los requerimientos o expectativas de funcionamiento, se definen más de una característica.

Un ejemplo de estándar de funcionamiento múltiple para el caso del área de mecanizados es: Mecanizar ejes de 60 cm. de diámetro a una velocidad de 120 rpm.

Estándares de funcionamiento cuantitativo: Cuando los requerimientos o expectativas de funcionamientos, están definidos de forma tal que se precisa en una medida lo que se quiere conseguir con en el desempeño del activo.

Estándares de funcionamiento cualitativo: Cuando los requerimientos o expectativas de funcionamientos, están definidos de forma tal que se hace difícil precisar en una medida lo que se quiere conseguir con en el desempeño del activo. En lo posible se debe evitar este tipo de definiciones.

Estándar de funcionamiento absoluto: Es cuando el sistema debe realizar la acción por la que fue definido en forma absoluta no parcialmente.

Estándar de funcionamiento variable: cuando las expectativas de funcionamiento varía entre un rango.

Limites superior e inferior: Este tipo de estándar se aplica en sistemas, cuando las medidas cuantitativas que definen las funciones se hacen variables por razones de desviaciones o tolerancias. Ejemplo mecanizar un eje entre una tolerancia de +/- 0,003”.

Con respecto al contexto operacional es importante resaltar la influencia en los requerimientos de funcionamiento de los activos. Por lo tanto se debe tener claro el contexto operacional al realizar un proceso de RCM a cualquier activo. Algunos

Factores importantes a considerar para establecer el contexto operacional son los siguientes:

- Descripción del tipo de proceso por lotes o continuo
- Uso de sistemas redundantes
- Especificación de estándares de calidad
- Regulaciones y estándares ambientales
- Turnos de trabajo
- Especificaciones o estándares de seguridad
- Abastecimiento de materias primas
- Demanda del mercado.

Las funciones que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividida en dos categorías:

Funciones primaria: Son la razón de ser del equipo, el motivo de su adquisición y generalmente se identifican con el nombre del activo. Por ejemplo la función primaria de un taladro sería taladrar.

Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenamiento o carga, calidad de producto y servicio al cliente.

Cuando un activo tiene más de una función primaria esta se conoce como función primaria múltiple. Para estos casos existe la alternativa de listar por separado cada función, lo cual nos llevaría a establecer varios programas de mantenimiento. O se opta por combinar los estándares estableciendo las peores condiciones en una sola función.

Para definir una función, primero enunciamos el verbo y luego el sujeto, por ejemplo: cerrar flujo, contener fluido, transmitir señal, comprimir aire, bombear agua, etc.

Funciones secundaria: La cual reconoce que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de:

- **Ecología e integridad ambiental:** Ultimadamente este factor se ha vuelto muy crítico debido a las normativas y regulaciones medioambientales.
- **Seguridad:** Los estándares de funcionamientos asociados a la seguridad cada vez son más rigurosos, debido a la búsqueda de ceros accidentes en las áreas de trabajo. Por lo cual se requieren activos con muchas protecciones que resguarden la integridad del personal.
- **Integridad estructural:** trata sobre las funcione secundarias de tipo estructural, generalmente comprende funciones como la de sostener otro activo.
- **Control:** se orienta a la necesidad de permitir regular el funcionamiento del activo. A través de las mediciones de ciertas variables informando en tiempo real las condiciones del proceso.
- **Contención:** es utilizada como una función secundaria en los casos de transporte de material a través de tuberías o cintas transportadoras.
- **Confort:** se utiliza como función secundaria cuando se orienta a las expectativas que tiene el usuario que el activo no le cause incomodidad, molestia, ansiedad, etc.

- Apariencia: se utiliza como función secundaria, para mostrar resalta y hacer visibles ciertos activos. Está muy relacionada con la de seguridad en el caso de establecer colores de advertencias.
- Protección: se utiliza como función secundaria en los casos que es necesario establecer a alarmas o dispositivos de protección automáticos que alerten al operador y protejan al equipo apagándolo cuando ocurra un comportamiento anormal.
- Economía y eficiencia: se utiliza para hacer referencia a los requerimientos que definen los usuarios en cuanto a expectativas de consumo.
- Funciones superfluas: se presentan cuando los equipos han sido modificados y se le han dejado ciertos componentes que no realizan ninguna función, pero al poder estos fallar se le está restando confiabilidad al activo.

2.4.2 Fallas funcionales: En RCM, los estados de falla, son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera estable.

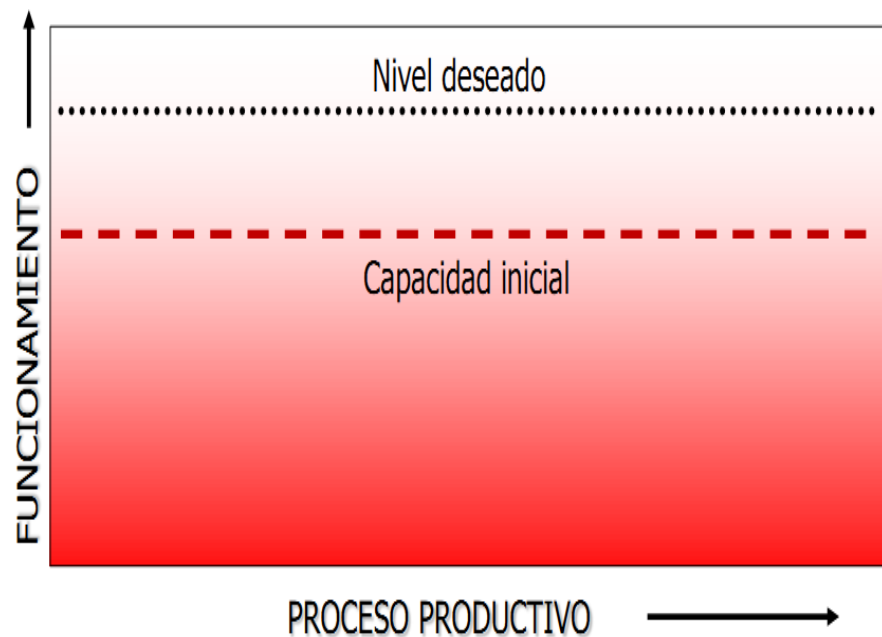
La SAE JA1011, la define como el estado en el cual un activo físico o un sistema es incapaz de realizar una función específica con un nivel de desempeño deseable.

Evidentemente estas solo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

Tipos de Fallas funcionales⁶:

1. Pérdida total de la función: es la incapacidad total de funcionar
2. Pérdida parcial de la función: abarcan fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable.
3. Funcionamiento erróneo: estándar de funcionamiento en el cual al activo, se le establece unos límites superior (nivel deseado) e inferior (capacidad inicial), y cuando este se sale del rango establecido se dice que ha fallado. Ver siguiente Figura 4.

Figura 4. Falla funcional



Fuente: Memorias seminario RCM

Reglas para establecer una falla funcional⁷

- Debe describir como falla un equipo, no el por qué
- Debe ser razonablemente probable de ocurrir al no dar mantenimiento

⁶ ORTIZ, Daniel. Memorias Seminario Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. UIS. Barranquilla 2012

⁷ Ibíd.

- Nunca contiene la descripción de un componente o una parte de una pieza
- Usualmente hasta diez palabras o menos
- Describir si se hace mas, hace menos u otras cosas, siempre sobre la base de la definición de función.

2.4.3 Modos de falla: El siguiente paso en el proceso de RCM es identificar los modos de falla el cual consiste en identificar todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla. Estos hechos se denominan modos de falla. Los modos de fallas incluyen fallas que aun no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

Al identificar los eventos o modos de fallas, podemos considerar que sucede cuando ocurren, estimar las consecuencias y determinar la estrategia de mantenimiento más adecuada a implementar.

“Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional⁸”

Las causas probables de fallas se pueden catalogar en las siguientes:

- Errores humanos
- Fallas en materiales.
- Fallas por diseño:
 - Geometría inadecuada
 - Material inapropiado
 - Mala estimación de esfuerzos

⁸ MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. North Carolina: Aladon LLC, 2004. p. 56.

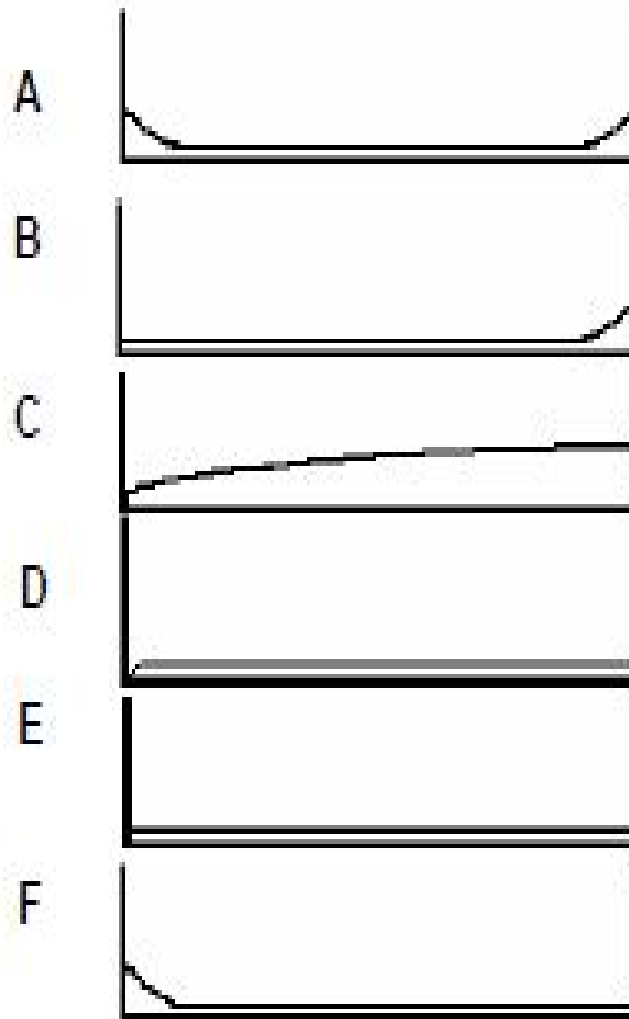
- Fallas por fabricación
 - Material utilizado de manera errónea
 - Composición química inadecuada
 - Técnica de fundición inadecuada
 - Inclusiones no metálicas
 - Defectos en procesos de fabricación
 - Mal tratamiento térmico
 - Malos acabados

Tabla 1. Modos de fallas típicos

Corrosión	Soltura física
Abrasión	Vibración
Erosión	Suciedad
Deformaciones	Humedad
Cambios volumétricos	Contaminación
Alta temperatura	Oxidación
Baja temperatura	Fugas
Perdida de aislamiento térmico	Envejecimiento
Fatiga	Obstrucción
Difusión de un material en otro	Perdida de aislamiento
Agrietamiento	Sobre voltaje
Cambio de la estructura metalúrgica	Sobre presión
Cambio de la estructura química	Sobre corriente

Los anteriores modos de fallas típicos tienen correspondencia con alguno de los seis patrones de fallas siguientes.

Figura 5. Patrones de fallas



Fuente: <http://confiabilidad.net/articulos/rcm2-introduccion/>

El patrón A, conocida como curva de la bañera, comienza con una gran incidencia de falla conocida como mortalidad infantil, luego una zona de incremento gradual o constante y termina en una zona de desgaste.

El patrón B, muestra un incremento gradual o constante y termina con una zona de desgaste.

Patrón C, muestra una probabilidad condicional de falla que crece lentamente, pero tiene una edad de desgaste claramente identificable.

Patrón D, muestra una baja probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo y luego un veloz incremento a un nivel constante.

Patrón E, muestra una probabilidad de falla constante a cualquier edad.

Patrón F, comienza con una mortalidad infantil que cae a una probabilidad de falla constante.

Los modos de fallas pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera⁹:

- Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado.
- Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial.
- Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere.

Capacidad decreciente: Se presenta cuando después de ser puesto en servicio la capacidad cae, quedando por debajo del funcionamiento deseado, como se muestra en la Figura 6.

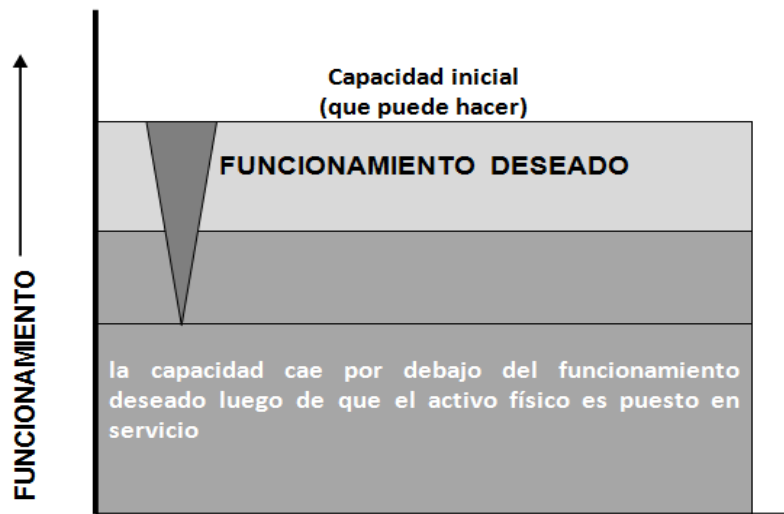
Las cinco causas principales de pérdida de capacidad son:

- Deterioro
- Fallas de lubricación
- Polvo o suciedad

⁹ MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. North Carolina: Aladon LLC, 2004. p.61

- Desarme
- Errores humanos que reducen la capacidad

Figura 6. Modos de fallas, categoría 1



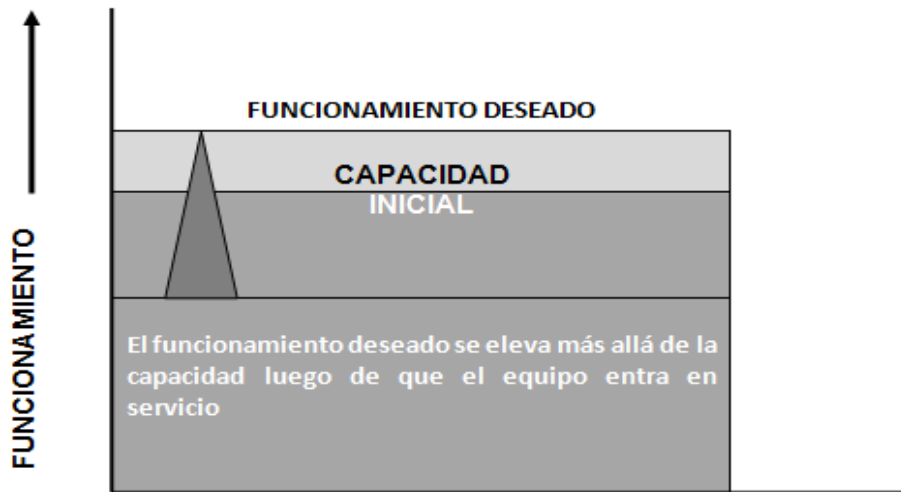
Fuente: mantenimiento centrado en confiabilidad RCM2. Moubray, John

Aumento del funcionamiento deseado: Esta categoría se presenta cuando después de haber sido puesto en servicio, la capacidad del activo aumenta hasta quedar fuera del funcionamiento deseado. En esta categoría puede fallar el activo de alguna de estas dos maneras, el funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo físico no puede responder a él y el aumento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro hasta el punto en que el activo físico se torna poco confiable que deja de ser útil, como se muestra en la Figura 7

Esta categoría puede ocurrir debido a las siguientes cuatro razones:

- Una sobre carga deliberada constante
- Una sobre carga no intencional constante
- Una sobre carga no intencional repentina
- Procesamiento o material de empaque incorrecto

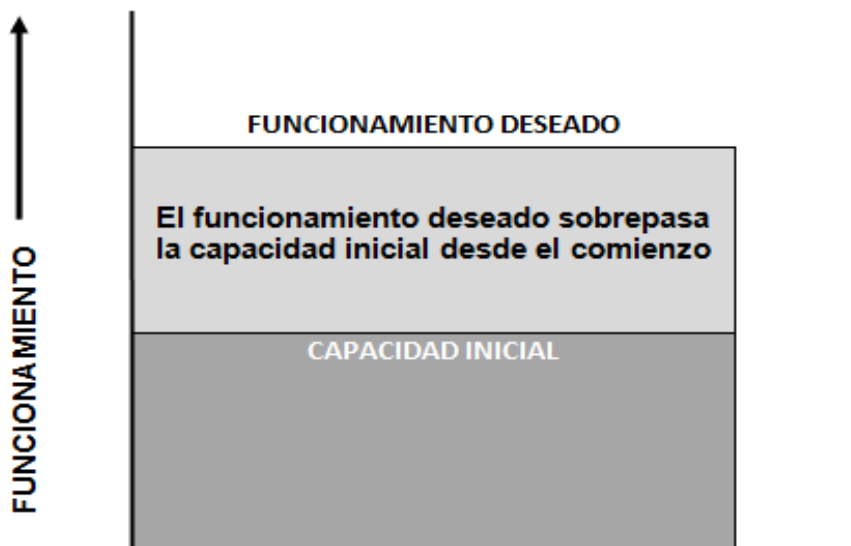
Figura 7. Modos de fallas, categoría 2



Fuente: Mantenimiento Centrado En Confiabilidad RCM2. Moubray, John

Capacidad inicial: En esta categoría se presenta cuando desde el arranque el equipo, el funcionamiento deseado está fuera del rango, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Modos de fallas, categoría 3



Fuente: Mantenimiento Centrado En Confiabilidad RCM2. Moubray, John

Para definir un modo de falla, primero enunciamos el sustantivo y luego el verbo, por ejemplo: cojinete agarrotado, impulsor gastado, válvula de entrada atascada en posición cerrada, etc.

2.4.4 Efectos de falla: El cuarto paso en el proceso RCM tiene que ver con hacer un listado de los efectos de falla, que describen lo que ocurre con cada modo de falla. Esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tal como:

Es importante resaltar las diferencias entre los conceptos efectos de fallas y consecuencias. Un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, y la consecuencia responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene?

Para caracterizar los efectos de una falla se debe tener en cuenta:

- Que evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa)
- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta)
- Que daños físicos (si los hay) han sido causados por falla
- Que debe hacerse para reparar la falla

Los pasos realizados hasta aquí, en la implementación del proceso RCM, se cataloga como análisis de modos de fallas y sus efectos (AMFE)

Generalmente la mejor fuente de información para preparar un AMFE, son las personas que en el día a día están interactuando con el equipo, siendo estos lo que mejor conocen el funcionamiento del equipo. De esta manera, la mejor manera de hacer captura de este conocimiento es invitarlos a participara en el desarrollo del AMFE.

2.4.5 Consecuencias de la falla: Determina el modo como las fallas afectan a la organización. Puede afectar operaciones. También puede afectar calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente. Son estas las que determinan la acción a evitar la falla, por ejemplo si una falla tiene serias consecuencias, se hará un gran esfuerzo por evitarla. Por lo cual RCM establece cuatro categorías las cuales van en orden de importancia, en las cuales se clasifican los efectos asociados a cada modo de fallas en estas categorías. Las categorías establecidas son las siguientes:

- Consecuencia para la seguridad del personal
- Consecuencia para el medioambiente
- Consecuencia para la producción
- Solo costo de reparación.

El siguiente paso es buscar una tarea proactiva que sea posible de realizar y que reduzca las consecuencias de las fallas; para lo cual, se establecen unos criterios para evaluar las consecuencias de las fallas y de esta manera decidir si merece la pena realizar algún tipo de tarea proactiva.

La primera etapa es separar las fallas ocultas de las funciones evidentes, debido a que las ocultas requieren un tratamiento especial.

2.4.6 Falla evidente: Son aquellas fallas en las que por medio de algún parámetro de funcionamiento o falta de este, tarde o temprano alguien se dará cuenta que se produjo por sí sola.

“una falla evidente es aquella cuya falla eventualmente e inevitablemente se hará evidente por sí sola a los operadores en circunstancias normales¹⁰”

2.4.7 Falla oculta: Son aquellas fallas, en las cuales no se evidencia de que ha ocurrido una falla hasta que ocurra otra falla que la ponga en evidencia.

“Una falla oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por si sola¹¹”

Para determinar el cómo las fallas evidentes afectan a la organización RCM clasifica las consecuencias de las fallas evidentes en cuatro grupos.

- Consecuencias para la seguridad: para RCM es muy importante controlar aquellos modos de falla que tienen consecuencias para la seguridad o puede lesionar o matar a alguien. De esta manera se protege la integridad que cada persona en su puesto de trabajo.

“Un modo de falla tiene consecuencias para la seguridad si causa una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien¹²”.

- Consecuencias para el medio ambiente: con respecto a los temas ambientales los cuales día a día han ido tomando mayor importancia a nivel mundial, RCM considera las consecuencias para el medio ambiente que puede generar cada modo de falla específico, de esta manera se protege el medio ambiente y se evita infringir alguna regulación o norma ambiental.

“Un modo de falla tiene consecuencias ambientales si causa una pérdida de función u otros daños que pudieran conducir a la infracción de cualquier normativa o reglamento ambiental conocido¹³”

¹⁰ MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. North Carolina: Aladon LLC, 2004. P. 96

¹¹ *Ibíd.*, p. 97

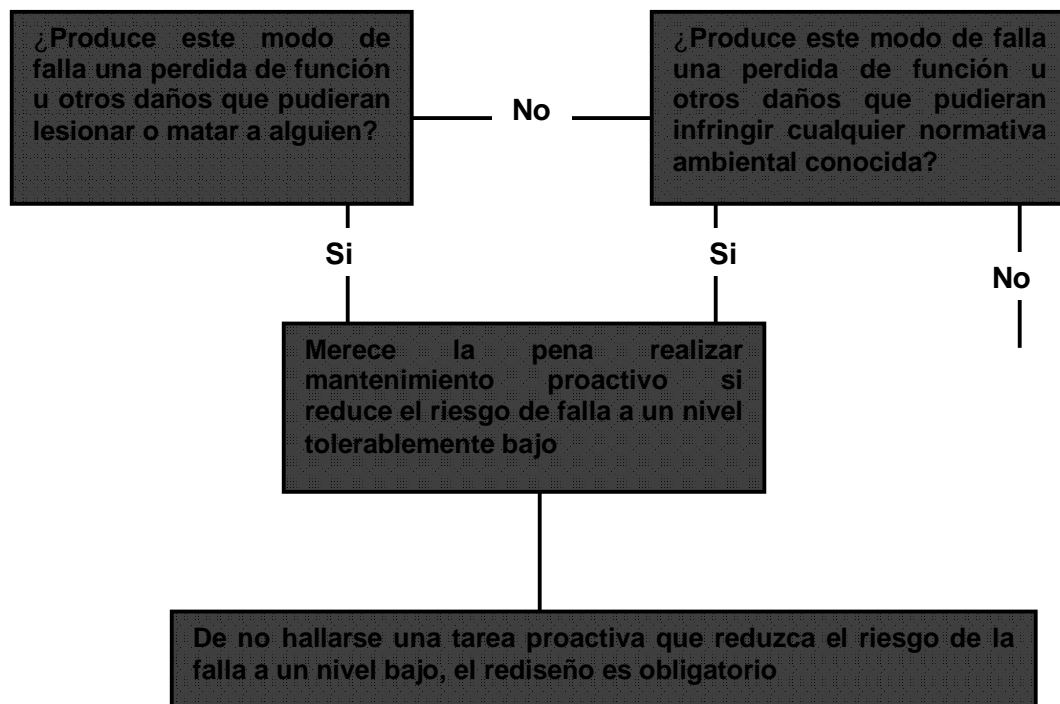
¹² *Ibíd.*, p. 98

¹³ *Ibíd.*, p. 99

RCM trata de manera muy rigurosa los modos de fallas que puedan tener consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, de esta manera RCM estipula que se debe intentar prevenirla realizando una tarea proactiva, en caso de que no se pueda hallar una tarea proactiva que reduzca la probabilidad de falla a un nivel bajo el rediseño es obligatorio, este rediseño se enfoca en cambiar las cosas para que la falla no tenga consecuencias para la seguridad o para el medio ambiente.

A continuación se observa el diagrama de decisión de una estrategia de mantenimiento para una falla que afecta la seguridad o el medio ambiente.

Figura 9. Diagrama de decisión de una estrategia de mantenimiento para una falla que afecta la seguridad y el medio ambiente.



Fuente: mantenimiento centrado en confiabilidad RCM2. Moubray, John

- Consecuencias operacionales: Una falla evidente tiene consecuencias operacionales si afecta la operación, desde cuatro puntos de vistas:

Servicio al cliente: un ejemplo de estas es cuando los clientes se ven afectados en la entrega a tiempo de los pedidos, lo cual incide en la pérdida de confianza en la búsqueda de otro proveedor por parte del cliente

Calidad del producto: cuando el equipo no puede mantener los ajustes o tolerancias, generando perdida de material o retrabados.

Volumen de producción total: cuando la maquina deja de funcionar o cuando trabaja a baja capacidad, lo cual incide en los incrementos de los costos de producción.

Incrementos del costo operacional sumado al costo directo la reparación: cuando por causa de la falla ocasione que se incremente el consumo de energía o que se use un proceso más costoso para cumplir con la producción.

Para evaluar la trascendencia económica de estas fallas, se debe evaluar cuanto puede costar a lo largo de un periodo de tiempo. De esta manera el criterio para realizar una tarea proactiva en económico.

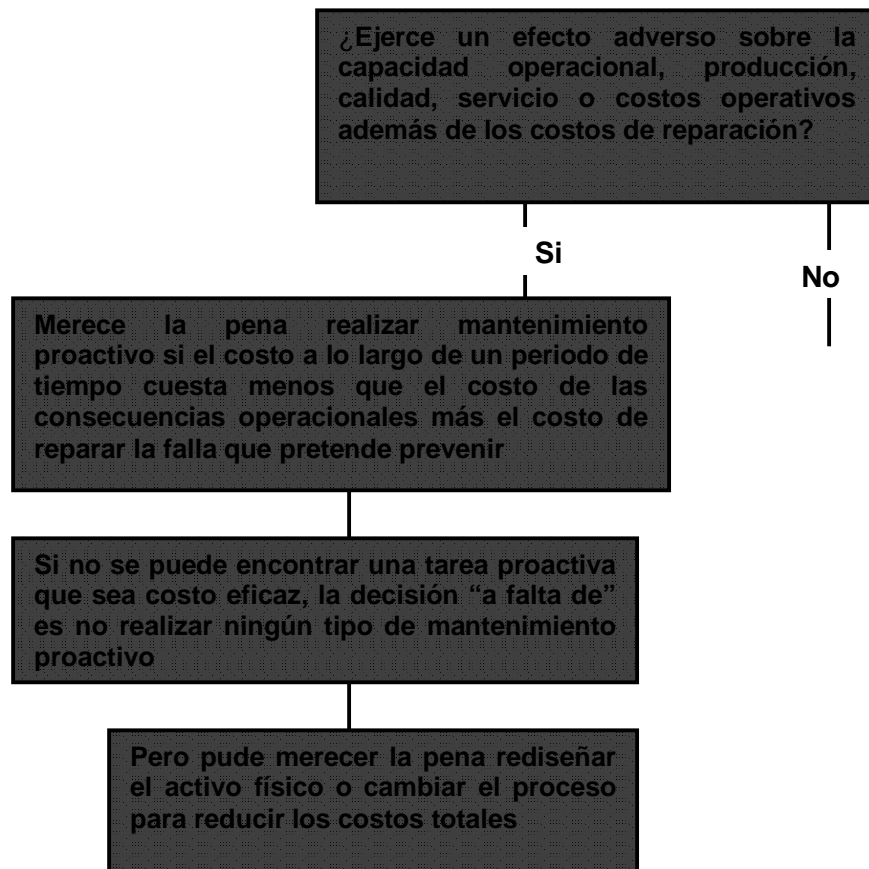
“Para modos de fallas con consecuencias operacionales, merece la pena realizar una tarea proactiva si a lo largo de un periodo de tiempo, cuesta menos que el costo de las consecuencias operacionales mas el costo de reparar la falla que pretende evitar¹⁴.”

¹⁴ MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. North Carolina: Aladon LLC, 2004. p. 110

De esta manera RCM se enfoca en reducir la probabilidad o la frecuencia de a un nivel económicamente tolerable. Para la cual considera realizar una tarea proactiva, si el costo a lo largo de un periodo de tiempo cuesta menos que el costo de las consecuencias más el costo de reparar la falla que pretende prevenir, si no se puede encontrar una tarea proactiva que sea costo eficaz, la decisión a falta de es no realizar ningún mantenimiento proactivo; pero puede merecer la pena rediseñar el activo físico o cambiar el proceso para reducir los costos totales.

El proceso de decisión para fallas con consecuencias operacionales puede ser resumido como se muestra en la Figura 10

Figura 10. Matriz de decisión para fallas con consecuencias operacionales



Fuente: mantenimiento centrado en confiabilidad RCM2. Moubray, John.

- Consecuencias no operacionales: son aquellas que solo implican los costos directos de reparación. Por lo tanto no ejercen efectos sobre la seguridad, el medio ambiente, o la capacidad operacional.

“Para modos de fallas con consecuencias no operacionales, merece la pena realizar tareas proactivas si, en un periodo de tiempo, cuesta menos que el costo de reparar las fallas que pretende prevenir¹⁵”

2.4.8 Consecuencias de fallas ocultas: Se presentan en aquellos sistemas que cuentan con dispositivos de protección, que envían alertas a los operadores, asumen el control de la función que ha fallado y detienen el equipo. De tal manera que garantizan que las consecuencias de la falla de la función protegida sean menos graves comparada con que no tuviera protección.

Los sistemas que cuentan con dispositivos de protección, pueden presentar diferentes tipos de fallas posibles.

Si dice que el dispositivo tiene seguridad inherente, si la falla se vuelve evidente por si misma al personal de operación en circunstancias normales. En los dispositivos de seguridad con seguridad inherente pueden ocurrir tres posibles situaciones. La primera posibilidad es que no falle el dispositivo de seguridad, la segunda posibilidad es que la función protegida falle antes que el dispositivo de seguridad, la tercera posibilidad es que falle el dispositivo de seguridad antes que la función que protege.

¹⁵ MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. North Carolina: Aladon LLC, 2004. p. 110

En los dispositivos de seguridad que no cuentan con seguridad inherente, cuando el dispositivo no es capaz de cumplir su función, no es evidente en circunstancias normales. En este caso se presentan cuatro situaciones posibles. La primera posibilidad es que no falle el dispositivo de seguridad, la segunda posibilidad es que la función protegida falle antes que el dispositivo de seguridad, la tercera posibilidad es que falle el dispositivo de seguridad antes que la función que protege. La cuarta posibilidad es que durante un ciclo cualquiera falle el dispositivo de seguridad, y luego falle la función que protege, mientras que el dispositivo de seguridad se encuentra en estado de falla. Este caso se conoce como falla múltiple.

“Solo ocurre una falla múltiple si una función protegida falla mientras que el dispositivo de protección se encuentre en estado de falla¹⁶”

“El objetivo de un programa de mantenimiento para una función oculta es prevenir la falla múltiple asociada, o al menos reducir las probabilidades de que ocurra¹⁷”

Debido a esto se hace necesario calcular la probabilidad de falla múltiple asociada a una falla oculta, la cual es definida por Moubray como:

Probabilidad		Probabilidad	de una	Promedio	de no-
de una falla	=	falla de la función	=	disponibilidad	del
múltiple		protegida		equipo de protección	

¹⁶ MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. North Carolina: Aladon LLC, 2004. p. 117

¹⁷ Ibíd. p. 118

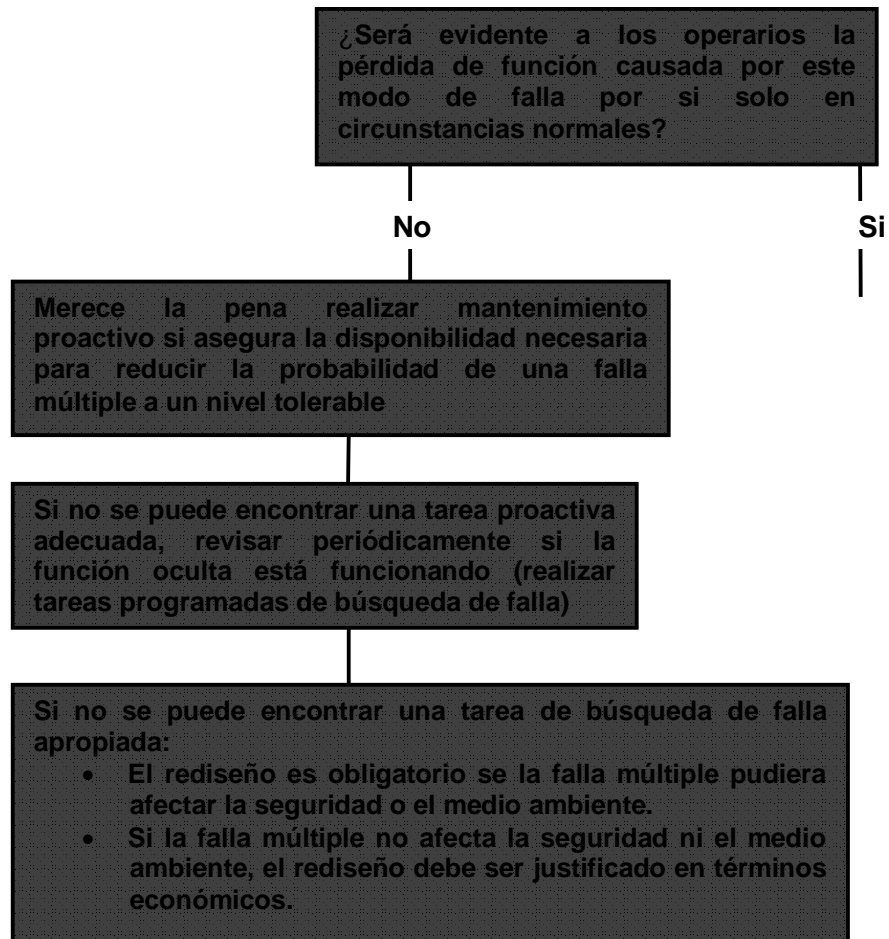
De lo anterior vemos que unos de los parámetros influyentes para que disminuir la probabilidad de falla múltiple, es la disponibilidad del equipo de protección.

Los sistemas compuestos por dispositivos de seguridad sin seguridad inherente, la probabilidad de una falla múltiple se puede prevenir de la siguiente manera

- Reduciendo la frecuencia de falla de la función protegida
 - Haciendo algún tipo de mantenimiento proactivo
 - Cambiando la manera en que se opera la función protegida
 - Cambiando el diseño de la función protegida
- Incrementando la disponibilidad del dispositivo de protección
 - Haciendo algún tipo de mantenimiento proactivo
 - Verificando periódicamente si el dispositivo de protección ha fallado
 - Modificando el dispositivo de protección

En el caso de fallas ocultas, para prevenir una falla múltiple debemos asegurarnos que la función oculta se encuentre disponible cuando la función protegida se encuentre en estado de falla, de esta manera buscamos una tarea proactiva que asegure la disponibilidad de la función oculta, en caso de una falla una tarea proactiva se debe realizar tareas programadas de búsqueda de falla y si no puede encontrarse una tarea de búsqueda de falla apropiada el rediseño sería una solución.

Figura 11. Matriz de decisión para fallas ocultas



Fuente: mantenimiento centrado en confiabilidad RCM2. Moubray, John

2.4.9 Tareas preventivas: En RCM las tareas preventivas son conocidas como tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclica.

“El reacondicionamiento cíclico consiste en reacondicionar la capacidad de un elemento o componente antes o en el límite de edad definido, independientemente de su condición en ese momento¹⁸”

¹⁸ MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. North Carolina: Aladon LLC, 2004. p. 138

Este tipo de tarea está muy relacionada con los patrones de fallas afines con la edad, de tal manera que se recupera la capacidad inicial del componente replazándolo por uno nuevo.

“Las tareas de sustitución cíclica consisten en descartar un elemento o componente antes, o en el límite de edad definida, independiente de su condición en ese momento¹⁹”

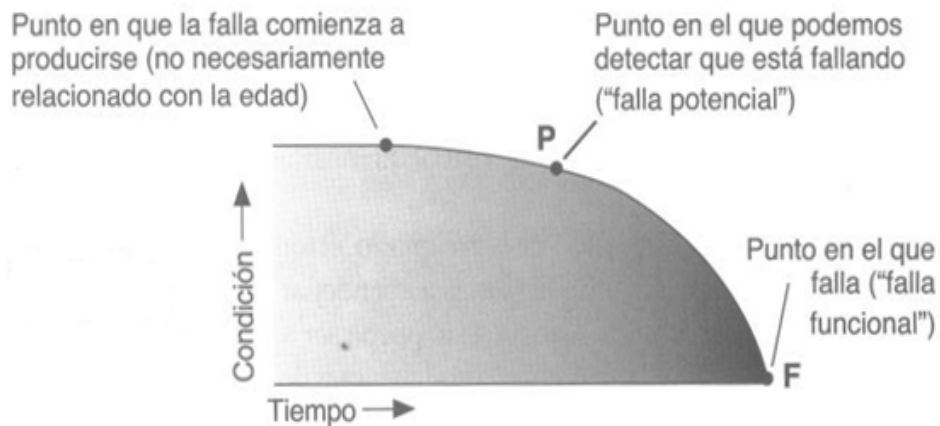
Las frecuencias de estas tareas están determinadas por la vida útil de cada elemento. Ósea cuando el elemento muestra un punto donde hay gran probabilidad condicional de falla.

2.4.10 Tareas predictivas: En RCM este tipo de tareas es conocido como mantenimiento a condición, y su objetivo es detectar la falla potencial con lo cual se evita o previene las consecuencias de las fallas.

Para una mejor comprensión se hace necesario estudiar la curva P-F, las cual nos muestra como comienza la falla, como se deteriora al punto que puede ser detectada por (punto P) y luego si no es detectada o corregida continua aumentando el deterioro hasta llegar a una falla funcional (punto F). Figura 12.

¹⁹ Ibíd. p. 139

Figura 12. Curva P-F



Fuente: mantenimiento centrado en confiabilidad RCM2. Moubray, John.

“Una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o en el proceso de ocurrir²⁰”

“Las tareas a condición consisten en chequear si hay fallas potenciales, para que se pueda actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional²¹”

Las tareas a condición se clasifican en:

- **Monitores de condición:** implican el uso de equipos especializados para detectar el estado de otros equipos, la desventaja es que controlan o monitorean una sola condición por la cual se requiere de varios equipos.
- **Monitoreo variaciones en la calidad del producto:** se monitorea la aparición de defectos en los productos.

²⁰ MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. North Carolina: Aladon LLC, 2004. p. 148

²¹ Ibíd. p. 149

- **Monitoreo de los efectos primarios:** implica la lectura de caudal, velocidad, presión, etc. a través de un instrumento y esta se compara con una medida de referencia.
- **Monitoreo basados en los sentidos humanos:** implica usar los sentidos, la vista, el oído, el olfato y el tacto, para detectar el estado del componente una de las desventajas de esta técnica es que las fallas están bien avanzadas cuando es posible detectarla con los sentidos.

2.4.11 Acciones “a falta de”: Para los casos en que no se pueda encontrar una tarea proactiva que reduzca el riesgo a un nivel tolerablemente bajo o tareas de o de reacondicionamiento o sustitución cíclica se emplea acciones “a falta de” entre las cuales se encuentran:

- Tareas de búsqueda de fallas
- Ningún mantenimiento programado
- El rediseño

2.4.12 Tareas de búsqueda de fallas: En el caso de fallas ocultas debe realizarse periódicamente una tarea de búsqueda de falla, la cual consiste en chequear si algo aun funciona

“Las tareas cíclicas de búsqueda de fallas consisten en chequear una función oculta a intervalos regulares para ver si ha fallado²²”

El objetivo de búsqueda de fallas es reducir la probabilidad de la falla múltiple asociada con la función oculta a un nivel tolerable.

²²MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. North Carolina: Aladon LLC, 2004. p. 177

2.4.13 Ningún mantenimiento programado: Para el caso de fallas ocultas que no afectan la seguridad ni el medio ambiente, y para fallas que tienen consecuencias operaciones o no operaciones en las que no es posible encontrar una tarea costo-eficaz, la acción es no realizar ningún mantenimiento programado, en estos casos el elemento es dejado en servicio hasta que ocurra una falla funcional.

El rediseño: para el caso de fallas que tienen consecuencias para la seguridad y el medio ambiente es la acción obligatoria.

Cuando tiene consecuencias para la seguridad y el medio ambiente el rediseño busca reducir las consecuencias de las siguientes maneras:

- Reemplazar el componente afectado por uno que sea más resistente
- Instalar uno o más dispositivos de seguridad, para alertar al operador, para apagar el equipo, para reemplazar la función que ha fallado, para prevenir la aparición de situaciones peligrosas.

Para el caso de fallas ocultas el riesgo de fallas múltiple puede de las siguientes maneras:

- Agregando otro dispositivo para hacer que la función oculta se haga evidente.
- Sustituir un dispositivo de seguridad que carece de seguridad inherente por otro que tenga seguridad inherente.
- Sustituir la función oculta por un dispositivo más confiable de tal manera que se reduzca la probabilidad de falla múltiple e incrementar los intervalos entre tareas.

- Duplicando la función oculta.

2.4.14 El diagrama de decisión de RCM: Este diagrama integra todos los procesos de decisión en una estructura estratégica y se aplica a todos los modos de fallas listados en la hoja de información de RCM, de tal forma que se pueda estimar el tipo de mantenimiento a realizar, cuales fallas ameritan rediseño y cuales se pueden dejar que ocurran.

La hoja de decisión está dividida en dieciséis columnas. Las tres primeras columnas F, FF y FM identifican el modo de falla que se analiza en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias de la hoja de información (ANEXO B) y las hojas de decisión (ANEXO C).

Las diez columnas siguientes relacionan las preguntas del Diagrama de Decisión de RCM.

Las columnas tituladas H, S, E, O y N, se utilizan para registrar las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla

H responde a la siguiente pregunta: ¿será evidente a los operarios la pérdida de función causada por este modo de falla actuando por si solo en circunstancias normales? Si la respuesta es Si se escribe S en la columna H y se pasa a la pregunta S, si la respuesta es no se escribe N en la columna H y se pasa a la pregunta H1.

S responde a la siguiente pregunta: ¿produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien? Si la respuesta es No se escribe N en la columna S y se pasa a la pregunta E, si la respuesta es si se escribe S en la columna S y se pasa a la pregunta S1.

E responde a la siguiente pregunta: ¿produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier normativa o reglamento del medio ambiente? Si la respuesta es No se escribe N en la columna E y se pasa a la pregunta O, si la respuesta es Sí, se escribe S en la columna E y se pasa a la pregunta S1.

O responde a la siguiente pregunta: ¿ejerce este modo de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional? Si la respuesta es No se escribe N en la columna O y se pasa a la pregunta N1, si la respuesta es Si se escribe S en la columna O y se pasa a la pregunta O1.

Las columnas tituladas H1, S1, O1 y N1, registran si ha sido seleccionada una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla, de tal manera que se evite las consecuencias.

La columna H2, S2, O2 y N2 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento programado apropiada para prevenir la falla

La columna H3, S3, O3 y N3 es utilizada para registrar si se pudo encontrar de sustitución cíclica para prevenir las fallas.

Si se hace necesario responder a las preguntas "a falta de", las columnas encabezadas con H4, H5 y S4, es donde se registran esas respuesta.

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada, la frecuencia con la que debe hacerse y quien ha sido seleccionado para realizarla. La columna de "Tareas Propuesta" también se utiliza para registrar los casos en los que se requiere rediseño, o si se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

2.5 SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE DATOS (SCADA)

Los sistemas de monitoreo industrial usualmente son manejados a través de sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), que son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia basados en la adquisición de datos de los procesos remotos.

Se trata de una aplicación de software, especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción y/o operación, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc. Cada uno de los ítems de SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de datos) involucran muchos subsistemas, por ejemplo, la adquisición de los datos puede estar a cargo de un PLC (Controlador Lógico Programable) el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado. Otra forma podría ser que una computadora realice la adquisición vía un hardware especializado y luego esa información la transmita hacia un equipo de radio vía su puerto serial, y así existen muchas otras alternativas.

Las tareas de Supervisión y Control generalmente están más relacionadas con el software SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador de cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano, la comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta o equipos la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc. Además permiten controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real.

Generalmente se vincula el software al uso de una computadora o de un PLC, la acción de control es realizada por los controladores de campo, pero la comunicación del sistema con el operador es necesariamente vía computadora. Sin embargo el operador puede gobernar el proceso en un momento dado si es necesario.

2.5.1 Funciones principales del sistema:

Supervisión remota de instalaciones y equipos: permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.

Control remoto de instalaciones y equipos: mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual. Además es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, etc.

Procesamiento de datos: El conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, esta información es procesada, analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.

Visualización gráfica dinámica: El sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.

Generación de reportes: El sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.

Representación de señales de alarma: A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.

Almacenamiento de información histórica: Se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, esta información puede analizarse posteriormente, el tiempo de almacenamiento dependerá del operador o del autor del programa.

Programación de eventos: Esta referido a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas, etc.

2.5.2 Transmisión de La Información: Los sistemas SCADA necesitan comunicarse vía red, puertos GPIB, telefónica o satélite, es necesario contar con computadoras remotas que realicen el envío de datos hacia una computadora central, está a su vez será parte de un centro de control y gestión de información.

Para realizar el intercambio de datos entre los dispositivos de campo y la estación central de control y gestión, se requiere un medio de comunicación, existen

Diversos medios que pueden ser cableados (cable coaxial, fibra óptica, cable telefónico) o no cableados (microondas, ondas de radio, comunicación satelital).

Cada fabricante de equipos para sistemas SCADA emplean diferentes protocolos de comunicación y no existe un estándar para la estructura de los mensajes, sin embargo existen estándares internacionales que regulan el diseño de las interfaces de comunicación entre los equipos del sistema SCADA y equipos de transmisión de datos.

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas y procedimientos que permite a las unidades remotas y central, el intercambio de información. Los sistemas SCADA hacen uso de los protocolos de las redes industriales.

La comunicación entre los dispositivos generalmente se realiza utilizando dos medios físicos: cable tendido, en la forma de fibra óptica o cable eléctrico, o radio. En cualquiera de los casos se requiere un MODEM, el cual modula y demodula la señal.

Algunos sistemas grandes usan una combinación de radio y líneas telefónicas para su comunicación. Debido a que la información que se transmite sobre un sistema SCADA debería ser pequeña, generalmente la velocidad de transmisión de los modem suele ser pequeño. Muchas veces 300bps (bits de información por segundo) es suficiente.

Pocos sistemas SCADA, excepto en aplicaciones eléctricas, suelen sobrepasar los 2400 bps, esto permite que se pueda usar las líneas telefónicas convencionales, al no superar el ancho de banda físico del cable.

En este sistema “Se realiza una rigurosa planeación y un programa específico, se efectúa en forma continua, es decir mientras el equipo está funcionando, en cada parte del equipo o maquinaria que se desea monitorear. Se establece un historial

Y se toman las correcciones necesarias. En algunos casos estos monitoreos a condición arrojan indicios de una futura falla”

2.6 SENSORES

Un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en valores medibles de dicha magnitud.

Esto se realiza en tres fases:

- Un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.
- La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje.
- El sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un conversor Análogo/Digital (A/D), conectado a un PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta.

2.6.1 Sensores de temperatura: La temperatura es una medida del promedio de energía cinética de las partículas en una unidad de masa, expresada en unidades de grados en una escala estándar. Puede medir temperatura de diferentes maneras que varían de acuerdo al costo del equipo y la precisión. Los tipos de sensores más comunes son los termopares, RTD's y termistores.

2.6.2 Termopares: Son los sensores de temperatura utilizados con mayor frecuencia porque son sensores precisos relativamente económicos que pueden operar en un amplio rango de temperaturas. Un termopar se crea cuando dos metales diferentes se juntan y el punto de contacto produce un pequeño voltaje de circuito abierto como una función de temperatura. Puede usar este voltaje termoeléctrico, conocido como voltaje Seebeck para calcular la temperatura. Para

Pequeños cambios en temperatura, el voltaje es aproximadamente lineal. Puede escoger entre diferentes tipos de termopares asignados con letras mayúsculas que indican su composición de acuerdo al American National Standards Institute (ANSI). Los tipos de termopares más comunes incluyen B, E, K, N, R, S y T.²³

Figura 13. Termopar



Fuente: Catalogo de
kobold

2.6.3 Resistive Temperature Detector (RTD): Son sensores de temperatura cuyo principio físico se basa en la resistividad de los metales, es decir, en variación de la resistencia de un conductor con la temperatura²⁴. Un RTD de platino es un dispositivo hecho de bobinas o películas de metal (platino generalmente). Al calentarse, la resistencia del metal aumenta; al enfriarse, la resistencia disminuye. Pasar corriente a través de un RTD genera un voltaje en el RTD. Al medir este voltaje, usted puede determinar su resistencia y por lo tanto, su temperatura. La relación entre la resistencia y la temperatura es relativamente lineal. Generalmente, los RTD tienen una resistencia de 100 Ω a 0 °C y pueden medir temperaturas hasta 850 °C.

²³ Citado junio 24 de 2012. Disponible en <<http://www.ni.com/white-paper/10635/es>>

²⁴ Citado junio 26 de 2012. Disponible en <<http://ingeniatic.euitt.upm.es/index.php/tecnologias/item/588-sensores-de-temperatura-rtd>>

Figura 14. Tipos de RTD.



Fuente: Catalogo de kobold

2.6.3.1 Termistor: Es una pieza fabricada de semiconductor hecha de óxidos de metal que están comprimidos en una pieza, disco, oblea u otra forma y son sometidos a altas temperaturas. Por último son cubiertos con epoxi o vidrio. Al igual que con los RTD, usted puede pasar una corriente a través de un termistor para leer el voltaje en el termistor y determinar su temperatura. Sin embargo, a diferencia de los RTD, los termistores tienen más alta resistencia (2,000 a 10,000 Ω) y una sensibilidad mucho más alta ($\sim 200 \Omega/^\circ\text{C}$), permitiéndoles alcanzar más alta sensibilidad en un rango de temperatura limitado (hasta 300°C).

Figura 15. Termistor



Fuente: Catalogo de kobold

2.6.4 Sensores de flujo

2.6.4.1 Flujiómetro Electromagnético: Los caudalímetros electromagnéticos están basados en la Ley de Faraday, de la cual se deduce que en un conductor en movimiento en un campo magnético constante se inducirá un voltaje. Este voltaje será proporcional a la velocidad de movimiento del conductor y a su longitud. Este fenómeno se reproduce en una caudalímetro electromagnético, que consta de bobinas que crean el campo magnético, un conductor que lo atraviesa (el fluido en movimiento) sobre el cual se induce la diferencia de potencial, y los electrodos que miden esta diferencia de potencial. Esta será proporcional a la velocidad del fluido,

Con lo que el caudal se determina sencillamente multiplicando esta velocidad por la sección de la cañería. Estos caudalímetros requieren que el líquido a medir tenga un mínimo de conductividad.

2.6.4.2 Turbina: Los medidores de tipo turbina se basan en el uso de piezas rotantes que son impulsadas por el flujo del fluido, (tales como hélices empujadas por el fluido) y giran a una velocidad proporcional al caudal del fluido circulante.

Figura 16. Modelos de caudalímetros digitales



Fuente: Catalogo de kobold²⁵

2.6.4.3 Medidores de caudal por Ultrasonido: Los caudalímetros por ultrasonido están basados en la propagación de ondas de sonido en un fluido. Existen dos principios básicos para esta medición: Tiempo de Tránsito y Efecto Doppler. En los caudalímetros por tiempo de tránsito, la velocidad de flujo se determina por la diferencia entre la velocidad de propagación de una onda de sonido a favor y otra en contra del flujo. Los elementos emisores y receptores pueden instalarse por fuera de la tubería sostenidos por abrazaderas. El instrumento de efecto Doppler

²⁵ Citado 23 de junio de 2012. Disponible en < <http://www.kobold.com>>

Tiene un generador de ultrasonido que emite ondas. Si en el seno del líquido existen partículas o burbujas de gas, estas ondas chocan con ellas provocándose una reflexión de las ondas, un eco. Cuando esto ocurre el eco devuelto tiene una frecuencia igual si el líquido está quieto ó distinta que la enviada si está en movimiento. Esta nueva frecuencia depende de la velocidad de la partícula productora del eco, por lo que midiendo el corrimiento de frecuencia se puede determinar la velocidad del fluido y por lo tanto el caudal instantáneo.

Caudalímetros de Desplazamiento Positivo: En este tipo de instrumento se llenan cámaras de tamaño conocido y son volcadas aguas abajo. Contando el número de cámaras llenadas en un determinado tiempo se obtiene el caudal. Como ejemplos de este tipo de medidores encontramos a los de engranajes, lóbulos y paletas deslizantes los cuales tienen una resistencia inmersa en el seno del fluido y se le hace circular una corriente eléctrica, esto produce calor. Si no hay circulación de fluido hay una determinada dispersión, que hace que la resistencia alcance una determinada temperatura. Si el fluido empieza a circular el calor es más dispersado por el flujo del medio en cuestión, enfriando la resistencia. Una segunda RTD da la temperatura de referencia del fluido. La diferencia de temperatura es un indicador de cuánto flujo másico está circulando.

2.7 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC)

Son los dispositivos de control más utilizados en la actualidad para controlar maniobras y secuencias de maquinaria, transportadores, líneas de producción y otros sistemas de planta. Los PLC's están diseñados para ejecutar un programa cíclicamente con un tiempo de ciclo de pocos milisegundos o inferior. En cada ciclo el PLC lee el estado de todos los periféricos que tiene conectados, aplica la lógica del programa que ejecuta y actualiza el estado de todas las señales de control.

Los PLC's pueden tener los periféricos integrados o remotos conectados mediante un bus de campo. Ofrecen mayores ventajas de disponibilidad y fiabilidad frente a los PC's industriales al estar diseñados específicamente para estas aplicaciones de control y al estar basados en sistemas operativos en tiempo real diseñados para trabajar a alta velocidad y arrancar en pocos segundos sin pérdida de información ante cortes de corriente.

En cuanto a la programación disponen de diversos lenguajes gráficos y textuales enfocados al control de secuencias y estados de sistemas. Estos lenguajes están estandarizados y normalizados de manera que son muy similares entre dispositivos de diferentes fabricantes.

2.8 COMUNICACIÓN E INTERFACES

Los sistemas que forman parte de la informática industrial de fábrica suelen estar interconectados entre sí mediante buses de campo y redes de comunicaciones. Es habitual que los dispositivos de campo y controladores estén comunicados mediante un bus de campo determinado y que los sistemas informáticos de control se comuniquen con los PLC's y otros controladores mediante buses de campo y redes Ethernet estándar. En el caso de Ethernet es de vital importancia que existan dos redes diferentes, una para los equipos de oficina y otra para los ordenadores que forman parte de la red de control, ya que de otra forma no es posible garantizar la velocidad y la fiabilidad de la red de control, que se puede ver afectada por problemas derivados de una mala gestión o utilización de los sistemas informáticos por parte de los usuarios, por virus informáticos o por accesos no autorizados, etc.²⁶

²⁶ Citado 24 de junio de 2012. Disponible en <<http://www.aedrac.com/>>

2.9 LUBRICACIÓN

Lubricación es interponer entre dos superficies, generalmente metálicas expuestas a fricción, una película fluida que las separe a pesar de la presión que se ejerza para juntarlas. La lubricación elimina el contacto directo de las superficies metálicas, impide su desgaste y reduce al mínimo el rozamiento que produce pérdida de potencia.

2.9.1 Lubricantes: En la actualidad los aceites se derivan del petróleo. El petróleo crudo es esencialmente una mezcla de gasolina, kerosene, aceite combustible y diesel, fracciones lubricantes, asfalto y gas natural disuelto. Estos productos a su vez son mezclas a menudo de miles de compuestos diferentes, cada uno de los cuales hierve a una temperatura definida.

Para aplicaciones en las cuales las condiciones son extremadamente severas, los aceites de petróleo se refuerzan a menudo con la adición de ciertos agentes especiales (aditivos).

La elección del lubricante adecuado es de suma importancia puesto que se tienen numerosos puntos para considerar en vista del servicio que se deba prestar. Si se toma como referencia lo concerniente al coeficiente de fricción debe observarse:

- ✓ La viscosidad y hasta cierto punto que de sus propiedades depende la facultad de un aceite para quedar entre dos superficies en movimiento.
- ✓ Con el aumento de temperatura se reduce la viscosidad y viceversa.
- ✓ Con una película completa de espesor constante crece la fricción líquida a medida que aumenta la velocidad del movimiento.

Para elegir en cada caso el lubricante adecuado se dispone de aceites de petróleo que varían en viscosidad, punto de ebullición, estabilidad química y otras características ya que todo lubricante debe:

1. Humedecer las superficies que necesitan lubricación.
2. Poseer la viscosidad adecuada.
3. No evaporarse excesivamente en el servicio.
4. No ser perjudicial a las sustancias con las que se pone en contacto y no tener tendencia a formar goma, barniz, sedimento y otros materiales que puedan estorbar su acción propia.
5. Poseer tal estabilidad contra las alteraciones químicas, que ninguna de las propiedades mencionadas se haga insuficiente en el servicio.

El aceite lubricante o simplemente “aceite” es una compleja mezcla de hidrocarburos que representa una de las clasificaciones más importantes de productos derivados de la refinación del petróleo crudo, encontrándose una gran variedad tanto de tipos como de grados.

Una de las propiedades más importantes y toda la historia de la lubricación gira alrededor de ella, es la viscosidad. La viscosidad de un fluido es su resistencia a fluir libremente. Fluidos espesos como la melaza tienen alta viscosidad porque no fluyen con rapidez. Fluidos delgados como el agua, fluyen rápidamente y tienen bajas viscosidades.²⁷

Los lubricantes deben rebajar al máximo los rozamientos de los órganos móviles facilitando el movimiento, pero además deben reunir propiedades tales como:

1. Soportar grandes presiones sin que la película lubricante se rompa.
2. Actuar como refrigerante.
3. Facilitar la evacuación de impurezas.

Por complicada que parezca una máquina, los elementos básicos que requieren lubricación son:

1. Cojinetes simples y antifricción, guías, levas, etc.

²⁷ ALBARRACÍN AGUILLON, Pedro Ramón. Tribología y Lubricación. Bucaramanga: Litochoa, 1993. p72

2. Engranajes rectos, helicoidales, sin fin, etc., que puedan estar descubiertos o cerrados.
3. Cilindros como los de los compresores, bombas y motores de combustión interna
4. Cadenas, acoples flexibles y cables.²⁸

El desempeño de un lubricante se ve afectado por varios factores. Los principales en términos generales son:

Factores de operación: entre los factores de operación principales que afectan la lubricación tenemos:

- a. La carga.
- b. La temperatura.
- c. La velocidad.
- d. Posibles contaminantes.

Factores de diseño: entre los factores de diseño se pueden considerar entre otros:

- a. Materiales empleados en los elementos.
- b. Textura y acabado de las superficies.
- c. Construcción de la máquina.
- d. Métodos de aplicación del lubricante.

2.9.2 Influencia de la temperatura en la lubricación: La selección de un lubricante adecuado requiere no solo conocer su viscosidad, sino también, entender la forma como ésta cambia con la temperatura. La viscosidad de cualquier líquido disminuye a medida que la temperatura aumenta, por lo tanto, un aceite con una viscosidad apropiada a temperatura ambiente, puede ser muy delgado a la temperatura de operación, un aceite con viscosidad adecuada a la

²⁸ SHELL. Seminario de Tribología y lubricación. P25.

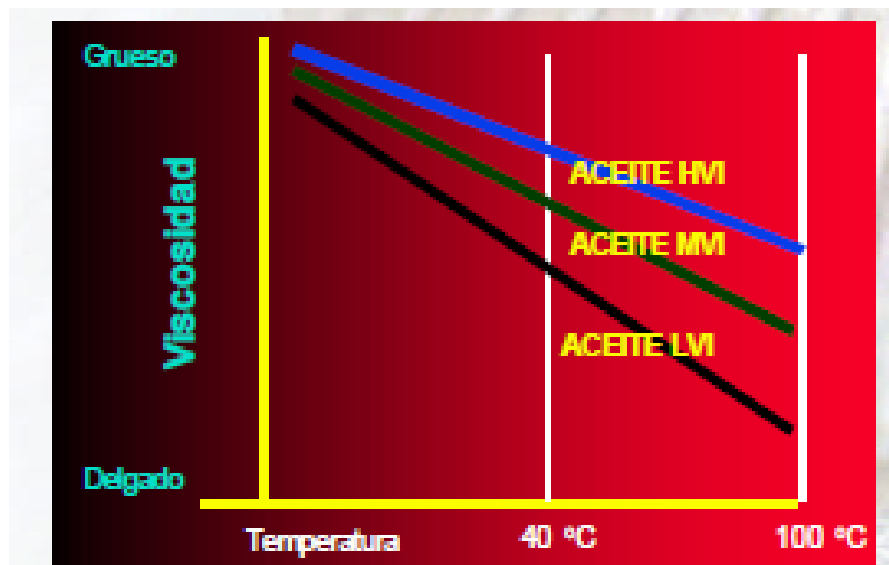
Temperatura de operación puede llegar a ser tan viscoso a bajas temperaturas que impide el arranque en frío del mecanismo lubricado.

El índice de viscosidad de un lubricante describe el efecto de la temperatura en su viscosidad. Los aceites con una viscosidad muy sensible a los cambios de la temperatura se dice que tienen un bajo índice de viscosidad, los aceites de alto índice de viscosidad son menos afectados por los cambios de temperatura.

El índice de viscosidad de un aceite está determinado por su viscosidad a 40°C y 100°C. El rango normal de índice de viscosidad para aceites minerales es de 0 a 100. Aceites con índice de viscosidad mayor de 85, son llamados aceites de alto índice de viscosidad (HVI). Aquellos con índices menores a 30 son conocidos como aceites de bajo índice de viscosidad (LVI), los situados en el rango intermedio son conocidos como aceites de mediano índice de viscosidad (MVI).

Es posible incrementar el índice de viscosidad de un aceite Grueso Temperatura 40°C 100°C.²⁹

Figura 17. Variación de la viscosidad con la temperatura



Fuente. Tutor Shell - modulo 1.

²⁹ SHELL. Introducción a la lubricación y lubricantes. P 5.

3. PROPUESTA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA O PROCESO POR MEJORAR

Para poder aplicar cualquier metodología existente en mantenimiento debe escogerse una muestra como objeto de estudio. Dentro del Centro Nacional Colombo Alemán (CNCA), esta muestra se ha definido como todos los equipos del taller de mecanizado. Para el análisis de equipos críticos se seleccionan los equipos basados en la matriz de la Figura 18, en la que se evalúan ciertos parámetros de manera concienzuda de acuerdo con la Tabla 2, y luego se establece la condición donde se encuentra de acuerdo con la posición en dicha matriz. Finalmente se clasifican los equipos como equipo crítico (C), equipo medianamente crítico (MC) y equipo no crítico (NC). Solo deben incluirse equipos que después de la evaluación resulten como medianamente críticos (MC) o equipos críticos (C)

Tabla 2. Tabla de cuantificación de parámetros

Criticidad Total = Frecuencia de fallas x Consecuencia	
Consecuencia = ((Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costo Mto. + Impacto SAH)	
Frecuencia de Fallas:	Costo de Mto.:
Pobre mayor a 2 fallas/año	Mayor o igual a 20000 \$
Promedio 1 - 2 fallas/año	Menor a 20000 \$
Buena 0.5 - 1 fallas/año	
Excelente menos de 0.5 falla/año	
Impacto Operacional:	Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SAH):
Pérdida de todo el despacho	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas.	Afecta el ambiente e instalaciones
Impacta en niveles de inventario o calidad	Afecta las instalaciones causando daños severos
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	Provoca daños menores (ambiente - seguridad)
	No provocan ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente
Flexibilidad Operacional:	
No existe opción de producción y no hay función de repuesto.	
Hay opción de repuesto compartido/almacen	
Función de repuesto disponible	

Figura 18. Matriz de criticidad

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente. Memorias seminario mantenimiento preventivo³⁰

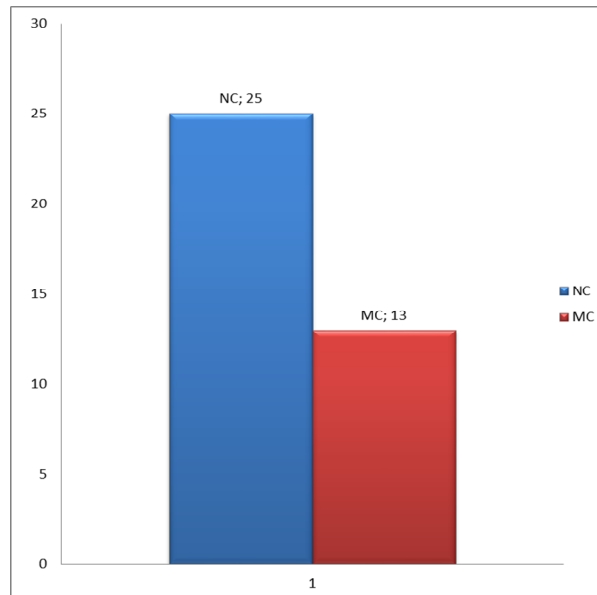
³⁰ GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2012. 148 p

Tabla 3. . Evaluación de criticidad de equipos

Equipo	Frec falla	Imp oper	Flex. Oper.	Costo de mantto	Imp. en SAH	Consecuenci a	Criticidad
Torno EMCO mad	4	4	1	1	3	8	MC
Limadora Klopp	2	1	1	1	3	5	NC
Fresadora MRF	4	4	1	1	3	8	MC
Fresadora Deckel	4	4	1	1	3	8	MC
Fresadora Klopp	4	4	1	1	3	8	MC
Torno Maximat	1	1	1	1	3	5	NC
Taladro solid	2	1	1	1	3	5	NC
Taladro radial	1	1	1	1	3	5	NC
Taladro alzmetal	2	1	1	1	3	5	NC
Torno industrial CNC	1	1	1	2	1	4	NC
Torno CAK5085di	1	4	1	2	1	7	NC
Torno Ck 6032	1	1	1	2	1	4	NC
Taladro radial	1	1	1	1	3	5	NC
Torno revolver Ramco	1	1	1	1	3	5	NC
Torno revolver Jator	1	1	1	1	3	5	NC
Torno Emco 342	1	1	1	2	1	4	NC
Torno Emco 155	1	1	1	2	1	4	NC
Fresadora Emco 155	1	1	1	2	1	4	NC
Fresadora XHS7145	1	4	1	2	1	7	NC
Fresadora VHP800	1	4	1	2	1	7	NC
Fresadora XK7132	1	1	1	2	1	4	NC
Fuente: Autores							

Evaluando cada uno de los parámetros de la tabla de criticidad para cada uno de los equipos analizados y ubicándolos en matriz de criticidad (frecuencia/consecuencia) se establece como equipos mediamente critico el torno emco mad, la fresadora MRF, la fresadora Deckel y la fresadora Klopp, según la Tabla 3. En total se encuentran 13 equipos críticos y 25 no críticos, para un total de 38 equipos (ver Figura 19).

Figura 19. Clasificación de equipos por criticidad



Fuente: los autores

Para este modelo se tomó como equipo piloto a la fresadora Klopp, ver Figura 20. Establecido este como el equipo estudio se llevará a cabo un análisis de RCM2 con el fin de determinar las variables a monitorear para establecer un mantenimiento basado en condición.

Figura 20. Equipo piloto para prueba del modelo



Fuente: los autores

Una vez realizada la evaluación de la criticidad de los equipos se procede a realizar el análisis a través de metodología RCM de la siguiente manera:

Con un equipo de trabajo interdisciplinario instructores del área de mantenimiento mecánico, eléctrico, electrónico, mecanizado, diseño, automatización, sistemas informáticos y aprendices de áreas relacionadas con el equipo de estudio y con la ayuda de una persona que conozca la metodología de trabajo RCM, quien en este

Caso hará las veces de facilitador, se asignará por grupo de trabajos, máquinas o equipos que entrarán en el sistema de monitoreo.

Antes que nada, se debe asegurar que todo el personal conozca la metodología de trabajo RCM, la sintaxis y definición de cada uno de los elementos de la metodología. Por tipo de máquina se establecen familias de equipos, para que uno en representación del resto sirva de piloto o modelo para luego reproducirlo o repetirlo el número de veces que sea necesario. Cada grupo interdisciplinario a demás de participar en la implementación de la metodología para el análisis RCM, tendrá unas funciones definidas. Como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4. Definición de funciones por especialidad participantes del proyecto

ESPECIALIDAD	Funciones
MECÁNICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección y detección de modos y efectos de fallas AMEF. • Servir como soporte para selección, instalación de instrumentos de medición y control. • Cálculos de indicadores de operación (futuro) • Adecuación de espacios para el montaje de componentes • Análisis estadístico de las fallas de los equipos de acuerdo con los históricos del software (futuro) • Planeación de las actividades de mantenimiento (futuro)
ELÉCTRICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo-soporte en la detección de modos y efectos de fallas. • Apoyo-soporte para selección instalación de

	<p>instrumentos de medición y control.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar Instalaciones eléctricas de la sala de control. elementos de alta potencia.
ELECTRÓNICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo soporte en la detección de modos y efectos de fallas. • Apoyo soporte para selección instalación de instrumentos de medición y control. • Desarrollar prototipos de Instalaciones electrónicas de la sala de control. elementos de baja potencia.
AUTOMATIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Programación del PLC • Servir de soporte al diseño de la interfaz gráfica.
DESARROLLO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN (ADSIS)	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuación del software de control de operación y mantenimiento a la necesidad. • soporte para la adecuación del software a componentes electrónicos. • Indicar los procedimientos para manejo del software montar disponibilidad web al software para manejo externo.
Fuente: los autores	

Descríbanse de manera adecuada cuales son las funciones, fallas funcionales, modos, efectos y consecuencias de fallas de los equipos, diligenciando los formatos correspondientes, tal como se muestra en la Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 5. . Hoja de datos fresadora Klopp

Hoja de datos RCM2	Sistema: fresadora Klopp		Sistema n° 3		Facilitador autores	Fecha junio de 2011	Hoja n°1
	Subsistema mecánico - eléctrico		Subsistema n° 1		auditor	Fecha agosto de 2012	De: 1
FUNCIONES	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIÓN OPERACIONAL	CONDICIONES AMBIENTE	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)		FUNCIONES	
FRESADOR A KLOPP		POTENCIA DE 3 HP	TEMPERATURA TRABAJO 45°	TEMPERATURA AMBIENTE 25 °	ENTRADA	<p>0. Mecanizar piezas por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa, realizando movimientos en sentido vertical, longitudinal y transversal.</p>	
	DIMENSIONES DE 2,05 X 1,85 X 1,75	AMPERAJE DE 10 A.	LIBRE POLUCIÓN RECINTO CERRADO	Incluye: cabezal vertical, indicadores eléctricos. No incluye prensa, divisores universales ni accesorios adicionales para operaciones específicas	220 V, 15 A, SEÑAL DE ARRANQUE, SELECCIÓN DE VARIABLES DE CORTE (AVANCE, RPM, POSICIÓN HERRAMIENTA, MATERIAL). APLICACIÓN DE LUBRICACIÓN MANUAL DE INICIO	<p>1. FRESAR MATERIALES METÁLICOS Y NO METÁLICO A DIFERENTES RPM (68, 120, 240, 400, 800, 1200).</p> <p>2. REALIZAR MOVIMIENTOS DE LA PIEZA DE TRABAJO A DIFERENTES AVANCES (0,03 A 2 MM/REV).</p> <p>3. MOVER LA MESA DE TRABAJO EN FORMA AUTOMÁTICA.</p> <p>4. PERMITIR MOVIMIENTO DE LA MESA DE TRABAJO EN FORMA MANUAL.</p> <p>5. DETENER MOVIMIENTO DE LA MESA DE TRABAJO AL ALCANZAR LA CARRERA ESTABLECIDA.</p> <p>6. REFRIGERAR LA HERRAMIENTA DE CORTE.</p>	
		PESO 2200 KG		HUMEDAD RELATIVA 50%	SALIDA		
		ACEITE LUBRICANTE MEROPA 150	FLUJO REFRIGERANTE DE 3 LT/MIN	REFRIGERACIÓN DE HERRAMIENTA	TORQUE DE 25 N.M		
		ACEITE SOLUBLE TEXACO OIL D20	VIBRACIONES 2,1 mm/s		GIRO DEL ÁRBOL A 36, 72, 120, 240, 400, 800, 600, 1200 RPM. FLUJO DE REFRIGERANTE A 15 PSI, 3 LT/MIN, MOVIMIENTO LONGITUDINAL, TRANSVERSAL, VERTICAL CON AVANCE DE 0,01 A 1,5 MM/REV., INDICACIÓN DE AMPERAJE, INDICACIÓN DE VOLTAJE		

FUENTE: AUTORES

Tabla 6. Hoja de información RCM2 fresadora Klopp

Hoja de información RCM2		Sistema: fresadora Klopp		Sistema n° 3		Facilitador: autores		Fecha junio de 2011		Hoja n° 1			
		Subsistema: mecánico -eléctrico		Subsistema n° 1		auditor		Fecha agosto de 2012		De 2			
Función		Falla Funcional		Modo de Falla		Efectos de falla							
1	FRESAR MATERIALES METÁLICOS Y NO METÁLICO A DIFERENTES RPM (68, 120, 240, 400, 800, 1200).	A	No fresar a ninguna RPMs	1	palanca de mando obstruida	Al obstruirse la palanca de mando, el operador realiza fuerza excesiva sobre la misma aumentando el consumo de amperaje del motor y el punto de contacto entre engranes, permitiendo desprendimiento de material de los piñones, contaminando el lubricante y obstruyendo los filtros del sistema hidráulico							
				2	Polea de transmisión rota	Al romperse la polea, no existe transmisión a la caja Norton, impidiendo la rotación del árbol principal ocasionando paro de la operación y retrasos en la entrega de la pieza de trabajo ocasionando pérdidas económicas.							
				3	Piñón del Árbol principal desengranado	Al estar el desengranado los piñones de la transmisión rozan provocando amplio ruido y en últimas los piñones patinan ocasionando que el árbol principal no gire deteniendo la operación de manera total y retrasando el tiempo de entrega							
				4	Correa de transmisión partida	Cuando la correa está partida no existe transmisión de movimiento del motor principal a la caja de velocidades del husillo							
2	REALIZAR MOVIMIENTOS DE LA PIEZA DE TRABAJO A DIFERENTES AVANCES (0,03 A 2 MM/REV).	B	No fresar en al menos una de las RPM	1	Eje tren secundario desengranado	Al desengranarse el eje del tren secundario al menos una transmisión no funciona con llevando al operario a usar un valor de rpm inadecuado, variando así los requerimientos de calidad							
				1	Piñón de ataque (móvil) no engranado	Al no engranar en su punto los dientes chocan evitando la transmisión de movimiento							
						2	Motor dañado	Al averiarse el motor no existe movimiento de la mesa en ningún sentido.					
3	REFRIGERAR HERRAMIENTA DE CORTE	A	No refrigera la herramienta de corte	1	Bomba dañada	Al averiarse la bomba no hay flujo de refrigerante ocasionando calentamiento excesivo en la pieza y en la herramienta de corte con posibilidad de ruptura y proyección hacia el operario.							

		B	refrigera la herramienta de corte deficientemente	1	Manguera rota	Al romperse la manguera hay fuga de refrigerante ocasionando deficiencias de flujo en el punto requerido (fresa)
4	MOVER LA MESA DE TRABAJO EN DIRECCIÓN ORTOGONALES	A	La mesa no se mueve en forma en dirección ortogonal	1	Temperatura excesiva	Al calentarse el aceite la película lubricante los elementos rodantes de los rodamientos del eje transversal sufren dilatación ocasionando que los ajustes sean más cerrados apretándose lo cual genera el contacto metal-metal con lo que el desgaste adhesivo se hace presente y finalmente frena el movimiento.
				2	Cuña ajustada por encima del limite	Al introducir la cuña muy adentro de la cajuela la mesa de trabajo se aprieta sobre las guías ocasionando detención de la misma, aumentando el consumo de corriente y disparando las protecciones eléctricas.
5	Limitar la carrera de la mesa de trabajo en un rango determinado		No limita la carrera de la mesa en el rango de trabajo	1	Microswitch dañado	Al no funcionar el microswitch la mesa de trabajo no se detiene en la carrera establecida ocasionando que la mesa se atasque evitando el desplazamiento en esa dirección.

FUENTE: AUTORES

Tabla 7. Hoja de decisión RCM²

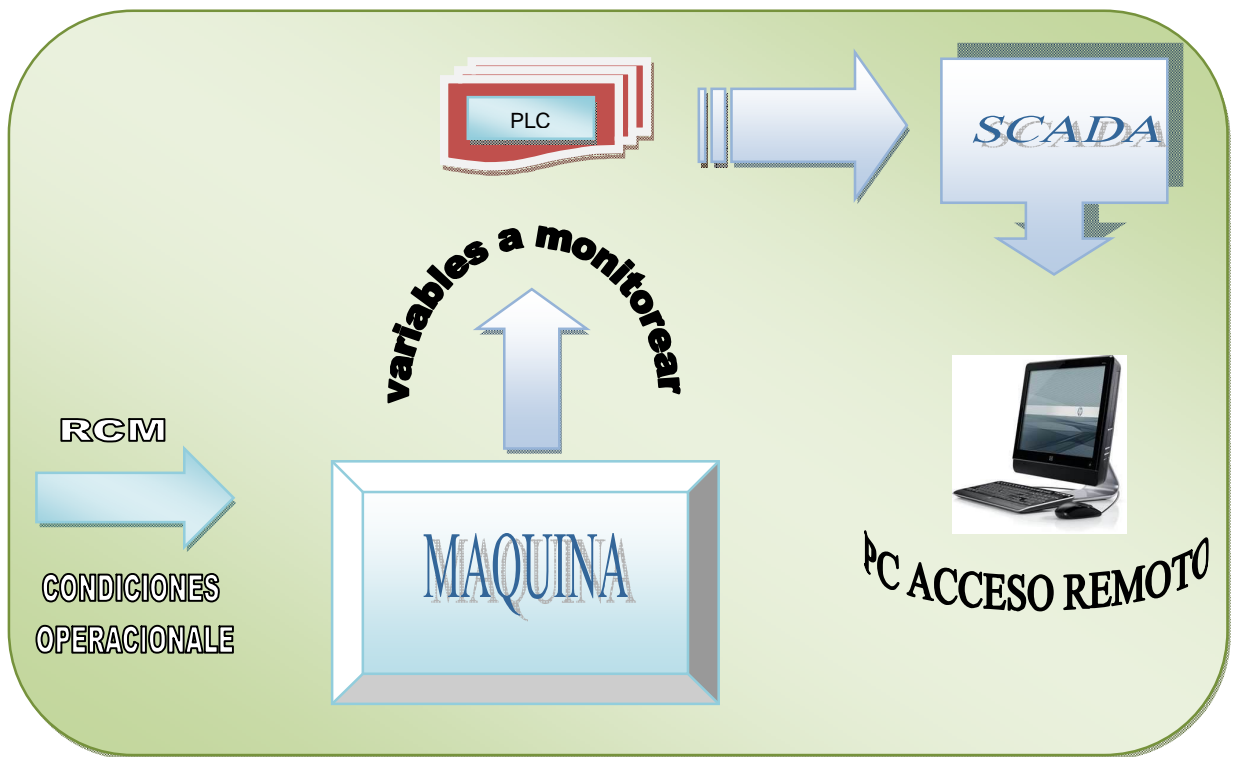
Hoja de decisión RCM2		Sistema: fresadora Klopp										Sistema n° 3	Facilitador: autores	Fecha: junio de 2011	Hoja n° 1
Referencia de información		Subsistema: mecánico-eléctrico										Subsistema n° 1	auditor	Fecha: agosto de 2012	De 1
		Evaluación de las consecuencias				Acción a falta de				Tareas propuesta					
		H1	H2	H3											
		S1	S2	S3											
		O1	O2	O3											
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento		
		2	S	N	N	S	N	S					reacondicionamiento cíclico/cambio de polea		
		3	S	N	N	S	N	N	N				Correr a falla (ningún manto proactivo)		
		4	S	N	N	S	N	S					Cambio de correa de transmisión		
	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento		
2	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición /monitoreo de temperatura del freno		
		1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento		
		2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento		
3	A	1	S	S			S						Monitorear flujo de refrigerante		
	B	1	S	N	N	S	N	S					Cambio de mangueras		
4	A	1	S	N	N	S	S						Monitoreo de temperatura de aceite		
		2	S	N	N	S	N	S					Verificar ajuste de la cuña		
5	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento		

FUENTE: AUTORES

Evaluados cada uno de los ítems anteriores de acuerdo con el resultado obtenido del diagrama de decisión, se establece que las variables susceptibles de monitoreo son la temperatura del aceite en la caja de avances, flujo de aceite refrigerante, la temperatura del freno magnético.

Después de haber determinado cuales son las variables que se deben tener en cuenta para el monitoreo se procede a definir cuáles son los componentes para el sistema de monitoreo.

Figura 21. Estructura del sistema de monitoreo en línea



3.2 SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA

Para la selección de los componentes del sistema de monitoreo se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- Bajo costo
- Disponibilidad en el mercado e instalaciones
- Resistencia
- Durabilidad
- Simplicidad
- Tamaño
- flexibilidad

3.3.1 Sensores: Después de evaluar los sensores disponibles en el mercado para el modelo, se seleccionan los siguientes:

Tabla 8. Listado de sensores

It	TIPO DE SENSOR	VARIABLE A MONITOREAR	RANGO DE TRABAJO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
1	PT 100 PT 1000 (RTD)	TEMPERATURA	0-100°C	Ver anexos E, F, G
2	CHOPPER	RPM	0-3600	
3	TURBINA	FLUJO	2 a 60	

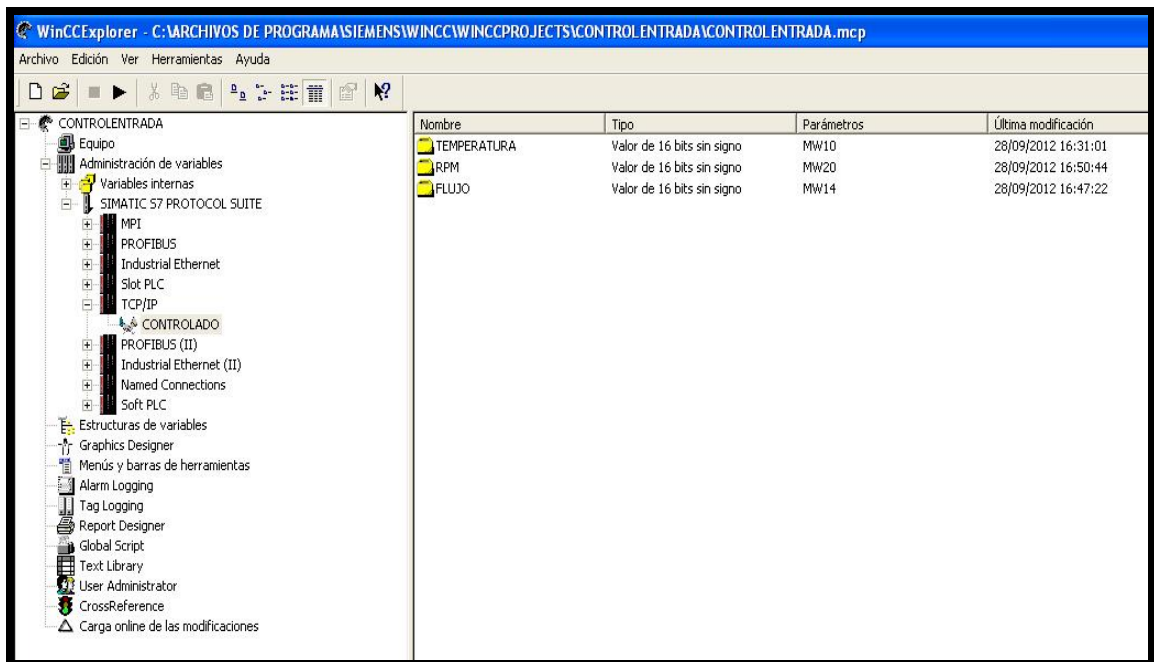
Fuente: Autores

Para la determinación del tipo de sensor se debe tener en cuenta los rangos de trabajos los cuales se establecen de acuerdo con la ventana operacional promedio de los equipos similares que han sido medidos con métodos convencionales o sistemas de monitoreo de condición.

3.3.2 Controlador lógico programable PLC: Se debe usar un PLC de baja gama o superior para establecer la recepción de señales de los sensores como es el SIEMENS S7 200, S7 300, ABB AC 500, otros de las mismas características. La función principal del S7--200 consiste en vigilar las entradas de campo y, conforme a la lógica de control, activar o desactivar los aparatos de salida de campo.

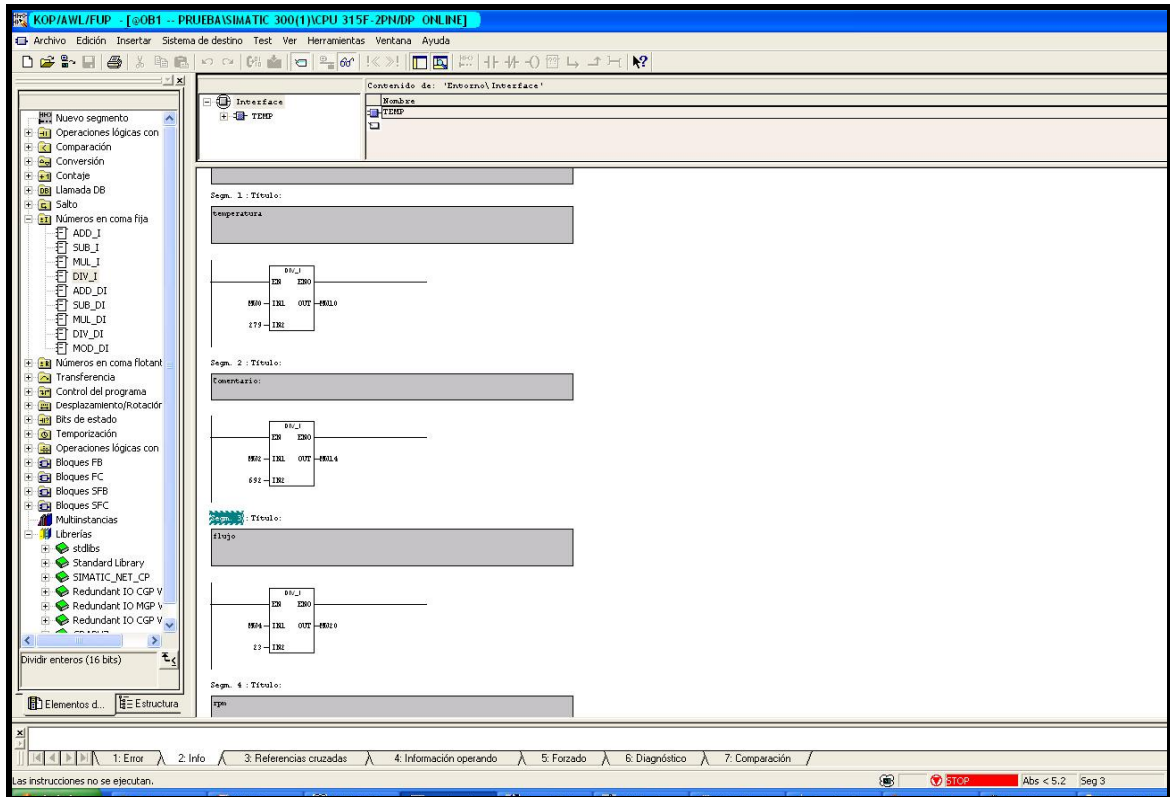
El S7--200 ejecuta continuamente el programa para controlar una tarea o un proceso. El programa se crea con STEP 7--Micro/WIN y se carga en el S7--200. STEP 7--Micro/WIN ofrece diversas herramientas y funciones para crear, implementar y comprobar el programa de usuario.

Figura 22. Explorador software SCADA – diseño de variables a monitorear



Fuente: Autores

Figura 23. Programación del PLC en SIMATIC - Diagrama de bloques.



Fuente: Autores

3.3.3 Comunicaciones: El S7--200 soporta numerosos tipos de redes de comunicación. La red se selecciona ajustando la interface PG/PC". Una red seleccionada se denomina una interfaz. Los diferentes tipos de interfaces disponibles para acceder a las redes de comunicación son:

- Cables multimaestro PPI
- Procesadores de comunicaciones
- Tarjetas de comunicación Ethernet

Este se debe conectar al PC través del puerto RJ 45 con un patch cord.

El S7--200 soporta la comunicación Ethernet TCP/IP vía un módulo de ampliación Ethernet (CP 243--1) o Internet (CP 243--1 IT). La Tabla 9 muestra las velocidades de transferencia y la cantidad de enlaces que soportan estos módulos.

Tabla 9. Cantidad de enlaces soportados por los módulos Ethernet (CP 243--1) e Internet (CP 243--1 IT)

Módulo	Velocidad de transferencia	Conectores
Módulo Ethernet (CP 243-1)	10 a 100 Mbit/s	8 enlaces de carácter general
Módulo Internet (CP 243-1 IT)		1 enlace STEP 7-MicroWIN

Fuente: Catálogo PLC Siemens S7 200

El protocolo de comunicaciones será en este caso TCP/IP, a través de Ethernet con el ancho de banda que esté disponible en la institución.

Al realizar el archivo de programación del PLC, SIMATIC 7, se generan dos archivos de base datos en SQL server los cuales se guardan automáticamente en una dirección predeterminada del computador.

3.3.4 Interfaz grafica humana (HMI)

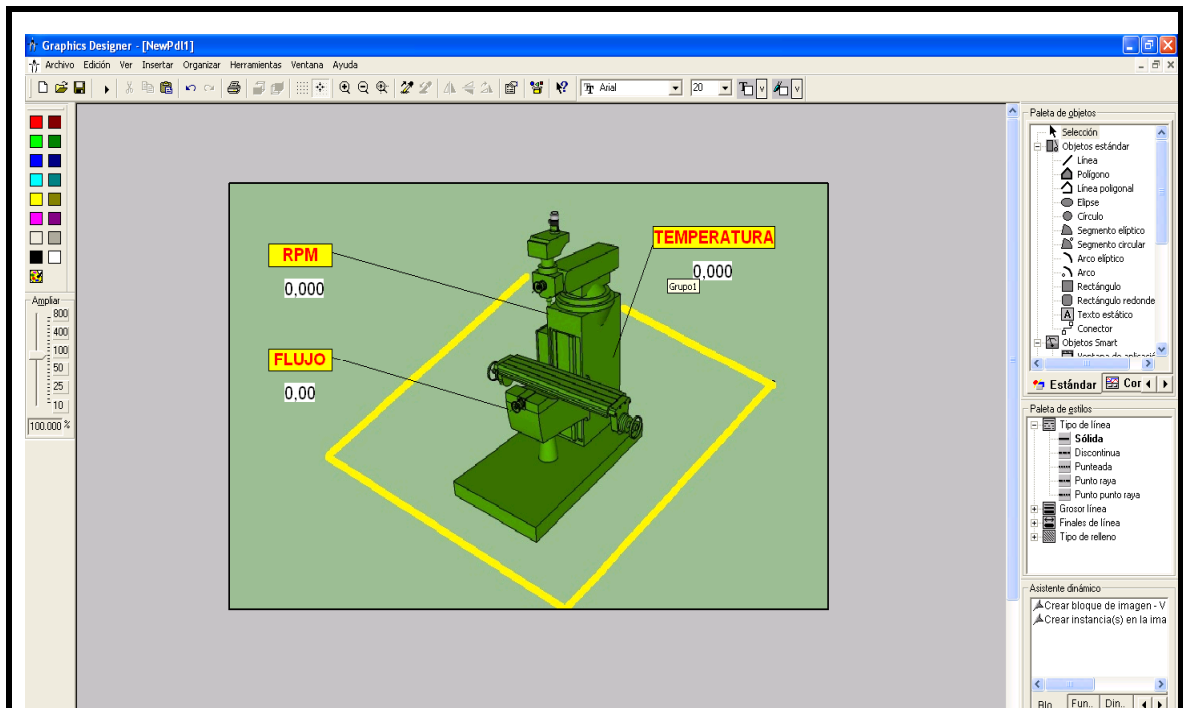
Existen diversos tipos de sistemas SCADA dependiendo del fabricante y sobre todo de la finalidad con que se va a hacer uso del sistema, por ello antes de decidir cual es el más adecuado hay que tener presente si cumple o no ciertos requisitos básicos:

- Todo sistema debe tener arquitectura abierta, es decir, debe permitir su crecimiento y expansión, así como deben poder adecuarse a las necesidades futuras del proceso.
- La programación e instalación no debe presentar mayor dificultad, debe contar con interfaces gráficas que muestren un esquema básico y real del proceso.

- Deben permitir la adquisición de datos de todo equipo, así como la comunicación a nivel interno y externo (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables para el usuario.

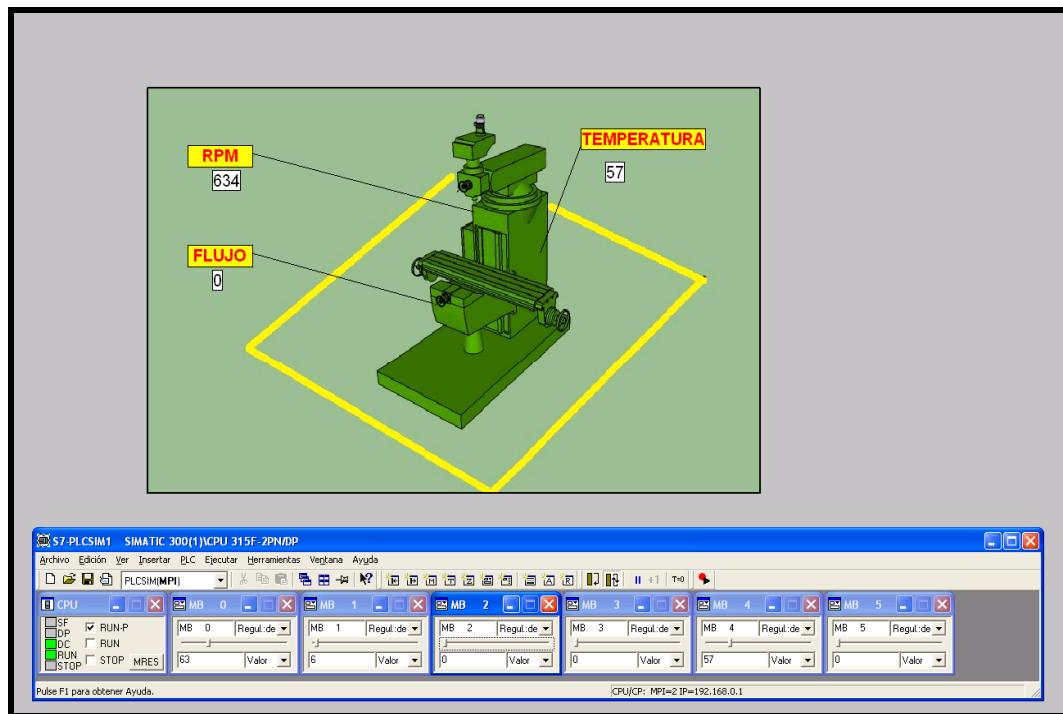
Como ejemplo para este modelo, se recomienda la utilización del programa Wincc versión 7.0, donde se puede realizar las interfaces graficas para mostrar varias pantallas que visualice el entorno general donde aplicará el sistema de monitoreo en diferentes vistas y en modelado 3D, con colores similares a los equipos en la realidad. Tal como se muestra en la Figura 24 y Figura 25. De igual manera tendrá opciones de ingresar a los datos de detalles del equipo específico a monitorear.

Figura 24. Interfaz grafica del modelo estado apagado software de diseño



Fuente: Autores

Figura 25. Interfaz grafica del modelo estado funcionamiento software SCADA (Wincc)



Fuente: Autores

3.2.5 Manejo de la información

A través del software WINCC, se generaran unos archivos denominados Tag Logging donde se registrarán todos los valores que toma la variable en tiempo real y los guardará en la base de datos tipo SQL server, de acuerdo con la programación establecida. Se recomienda que los datos se guarden cada 5 segundos y cada semana la base de datos se depure.

Estos campos de la base de datos del software SCADA son los que se tomarán para crear relaciones con los campos de cualquier base de datos de un software específico de mantenimiento ya sea para trabajar de manera cliente servidor o vía WEB (Computer Maintenance Manager System - CMMS).

Una vez enlazadas estas dos bases de datos al software de mantenimiento, que para este caso se recomienda que sea un software CMMS, para que se puedan obtener datos reales, en tiempo real y desde cualquier parte del mundo donde se tenga acceso a internet

Con el monitoreo de las variables temperatura, rpm, flujo, se determinaran en un futuro comportamientos normales y anormales de maquinas, es decir, se establecerán ventanas operativas de las maquinas de mecanizados para distintos estados de operación. De esta manera el supervisor del sistema de monitoreo puede tomar acciones proactivas (preventivas – predictivas)

Por similitud funcional se han determinado otras variables de las máquinas del taller de mecanizado que se proyectan para adicionarlas al sistema de monitoreo en línea de acuerdo con la Tabla 10. Al principio del proyecto la variable es objeto de monitoreo, pero en un futuro puede ser o registrada, diagnosticada y/o controlada a través de la programación asignada en el PLC, para poder llevar a cabo respuestas a los comportamientos de las máquinas en el momento oportuno.

Tabla 10. Resumen de futuras variables a monitorear por equipos

EQUIPO	VARIABLE ON LINE	PARÁMETROS	SENSOR
Fresadora Klopp	Temperatura aceite caja de velocidades mesa de trabajo	T<50°, si mayor controlar.	Pt 100
	Temperatura aceite caja de transmisión husillo	T<50°, si mayor controlar.	
	Nivel de aceite caja de transmisión husillo	Nivel mínimo, normal y máximo	Tipo boya
	Nivel de aceite caja de velocidades mesa de trabajo		Tipo boya
	Temperatura de rodamientos cabezales	20<T<50°, si mayor controlar.	Pt 100
	Temperatura de freno magnético	20<T<50°, si mayor controlar.	
	Temperatura de rodamientos del motor principal lado libre	T<50°,	Pt 100
	Temperatura de rodamientos del motor principal lado acople	20 a 130°C	

	Temperatura del freno motor principal	0 a 200°C	
	Temperatura de rodamientos del motor de la mesa lado libre lado acople	20 a 130°C	
	Consumo de corriente motor husillo	A <15 AMP	0 a 20 A
	Encendido motor mesa	Encendido/apagado	On –off
	Encendido motor principal	Encendido/apagado	On –off
	flujo bomba refrigerante	0-60 gpm	Turbina
	rpm árbol principal	0 a 3000rpm	shopper
Fresadora MRF	Temperatura aceite caja de velocidades	T<50°, si mayor controlar.	Pt 100
	Temperatura aceite caja de transmisión	T<50°, si mayor controlar.	Pt 100
	Nivel de aceite caja de transmisión	Nivel mínimo, normal y máximo	Tipo boya
	Nivel de aceite caja de avances	Nivel mínimo, normal y máximo	Tipo boya
	Temperatura de rodamientos cabezales	T<50°, si mayor controlar.	Pt 100
	Temperatura de rodamientos del motor husillo principal lado libre	T<50°, si mayor controlar.	Pt 100
	Temperatura de rodamientos del motor husillo principal lado acople	T<50°, si mayor controlar.	Pt 100
	Temperatura del freno motor principal	T<50°, si mayor controlar.	Pt 100
	Temperatura de rodamientos del motor de la mesa lado libre	T<50°, si mayor controlar.	Pt 100
	Temperatura de rodamientos del motor de la mesa lado libre	T<50°, si mayor controlar.	Pt 100
	Consumo de corriente	Encendido/apagado	On –off
	Encendido/apagado motor mesa	Encendido/apagado	On –off
	Encendido/apagado motor principal	Encendido/apagado	On –off
	flujo bomba refrigerante	0-60 gpm	Turbina
	rpm árbol principal	0 a 3000rpm	shopper
	posición de la mesa de trabajo	Encendido/apagado	On –off
	Torno emco	Encendido/apagado motor principal	Encendido/apagado
rpm husillo principal		0 a 3000rpm	shopper
Rpm motor principal		0 a 3000rpm	shopper
Temperatura de rodamientos motor principal lado libre		T<50°, si mayor	Pt 100

		controlar.	
	Temperatura de rodamientos motor principal lado acople	T<50°, si mayor controlar.	Pt 100
	Desembrague husillo	Encendido/apagado	On –off
	flujo bomba refrigerante	0-60 gpm	Turbina
	posición de la torreta	0 a 3000rpm	shopper
	Movimiento automático/manual	Encendido/apagado	On –off
	Nivel de aceite caja de Norton	Nivel mínimo, normal y máximo	Tipo boya
	Temperatura freno	T<50°, si mayor controlar.	Pt 100
Fuente: Autores			

4. COSTOS Y PRESUPUESTOS

Desarrollar una propuesta como ésta requiere una cierta cantidad de recursos por cada equipo que quiera ingresarse al sistema de monitoreo. Se debe hacer énfasis que cada punto a monitorear requiere un sensor. El PLC, tiene 8 entradas y 8 salidas, si el número de puntos excede esta cantidad de entradas se deben incluir módulos adicionales por un costo de \$500.000. Para el modelo simulado el costo aproximado se puede apreciar en la Tabla 11. Para el cálculo del costo del personal técnico se tiene en cuenta el salario mínimo y un factor prestacional de 1,57.

Tabla 11. Costos de la implementación del modelo para un solo equipo

DESCRIPCIÓN	CANT	COSTO TOTAL
MATERIALES Y EQUIPOS		
Sensor de rpm's	1	125.000
Sensor de flujo	1	200.000
Sensor de temperatura	2	300.000
Plc siemens s7-200	1	6.000.000
Paquete de software SCADA	1	17.500.000
Servidor	1	3.000.000
Patch cord	1	20.000
Computador portátil	1	2.000.000
Switch 10/100	1	100.000
Subtotal		29.245.000
PERSONAL		
Programador de plc	1	890.000
Programador de sistemas	1	890.000
Mecánicos	2	1.780.000
Eléctricos	2	1.780.000
Electrónico	1	890.000
Facilitador RCM	1	3.000.000
Director de proyecto	1	3.000.000
Subtotal		12.230.000
Total		41.475.000

Fuente: los autores

CONCLUSIONES

El modelo para la implementación de un monitoreo en línea a través de cualquier modo sea local o remoto en su mayoría, se realiza para tener una idea de qué es lo que está sucediendo en las plantas de producción o en los equipos de operaciones más importantes, donde la organización tiene concentrado sus esfuerzos principales. A través de este modelo se integró una metodología o estrategia de mantenimiento centrada en confiabilidad (RCM²) para determinar cuáles eran los modos de fallas en un equipo crítico o medianamente crítico que dan origen al monitoreo de dicho modo de falla, con el fin de enlazarlo al cambio de una variable y de esta manera mantenerla(o) en constante vigilancia.

De los 38 equipos que integran el taller de mecanizado 13 se clasificaron como equipos medianamente críticos y 25 como no críticos. En el equipo que se tomó como ejemplo para realizar el estudio se pudo ver claramente que muy pocas son sus actividades de mantenimiento preventivo o de sustitución. Se pudo observar también que la mayor parte de sus fallas son evidentes, al menos las que se evaluaron. Dentro de las variables de monitoreo más representativas en este modelo son las de temperatura de aceite y freno, los valores de RPM del husillo principal y el flujo de refrigerante.

De la misma manera que se evaluó la fresadora Klopp, se pueden estudiar las variables de monitoreo de los otros equipos críticos determinados según el análisis de criticidad y para ingresarlo al sistema solo es necesario revisar en el mercado los distintos sensores de acuerdo a los criterios de adaptabilidad, rango, precisión, costo y conectarlo al PLC si hay disponibilidad de entradas y salidas, o de módulos alternos al existente. Luego se debe programarlo a través del software SCADA y determinar qué hacer con la información que éste genere.

BIBLIOGRAFÍA

ALBARRACÍN AGUILÓN, Pedro Ramón. Tribología y Lubricación. Bucaramanga: Litochoa, 1993. 134 p.

AMENDOLA, Luis José. Gestión de Proyectos de Activos Industriales. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2006. p63.

AUGUST, Jim. RCM Guidebook: Building a Reliable Plant Maintenance Program. Oklahoma: Penn Well Corporation, 2004. 273 p.

GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Barranquilla, 2012. p194.

GONZÁLEZ JAIMES, Isnardo. Seminario II: Monografía de Especialización. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007.

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento planeación y control. Medellín, 2009. 305 p.

MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. North Carolina: Aladon LLC, 2004. 433 p.

ORTIZ, Daniel. Memorias Clase Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. UIS. Barranquilla 2012

PINILLA. Pablo. Sistemas de información. Bucaramanga. 2008 CD. Posgrado Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

VARGAS CABEZAS, Jonathan. Sistema de monitoreo de eficiencia en la línea de producción de Salsas Oscuras. Unilever de Centro América. Cartago, Abril del 2006. 92 p

PAGINAS DE INTERNET

http://agrazindustrial.com/index.php?view=article&catid=16%3Aproductos&id=15%3Amonitoreolineas&format=pdf&option=com_content&Itemid=9

<http://www.a-maq.com/sistemasdemonitoreo.html>

<http://www.ifm.com/ifmar/web/news/new-pt100-sensors-for-industrial-applications.html>

<http://www.kobold.com>

http://www.ovredal.com/Productos_termometro_sondas.htm

<http://www.sena.edu.co>

<http://www.sicelta.com/>

<https://www.automation.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/visualization-software/scada/Pages/Default.aspx>

ANEXOS

ANEXO A. Hoja de datos RCM 2

Hoja de datos RCM2	Sistema:		Sistema n° 3		Facilitador autores		Fecha	Hoja n°1
	Subsistema		Subsistema n° 1		auditor		Fecha	De: 1
FUNCIONES DE EQUIPOS.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)		FUNCIONES		

ANEXO E. Ficha técnica PLC SIEMENS S7-200

Compatibilidad electromagnética — Inmunidad según EN61000-6-2 ¹	
EN 6100042 Descargas electrostáticas	Descarga del aire de 8 kV en todas las superficies y al puerto de comunicación, descarga de contactos de 4kV en las superficies conductoras desnudas
EN 6100043 Campos electromagnéticos radiados	10 V/m a 80-1000 MHz, 80% AM a 1kHz 3 V/m a 1,4-2,0 GHz, 80% AM a 1kHz3 1 V/m a 2.0-2.7 GHz, 80% AM a 1kHz3
EN 6100044 Transitorios eléctricos rápidos	2 kV, 5 kHz con red de unión a la alimentación AC y DC 2 kV, 5 kHz con abrazadera de unión a las E/S digitales 1 kV, 5 kHz con abrazadera de unión a la comunicación
EN 6100045 Inmunidad a ondas de choque	Alimentación: 2 kV asimétrico, 1 kV simétrico 1 kV simétrico para E/S (para los circuitos de 24 VDC se necesita una protección externa contra sobrecorriente)
EN 6100046 Perturbaciones conducidas	0,15 MHz a 80 GHz 10 V/m, 80% AM a 1 kHz
EN 61000411 Caídas de tensión, interrupciones breves y variaciones de tensión	Tensión residual: 0% durante 1 ciclo, 40% durante 12 ciclos y 70% durante 30 ciclos @ Salto de voltaje de 60Hz en paso por cero
VDE 0160 Sobrevoltaje no periódico	A 85 VAC línea, 90° decaje de fase, aplicar cresta de 390 V, impulso de 1,3 ms A 180 VAC línea, 90° decaje de fase, aplicar cresta de 750 V, impulso de 1,3 ms
Compatibilidad electromagnética — Emisiones conducidas y radiadas según EN 6100063 ² y EN 6100064	
EN 55011, clase A, grupo 1, conducida ¹ 0,15 MHz a 0,5 MHz 0,5 MHz a 5 MHz 5 MHz a 30 MHz	< 79 dB (µV) casi cresta; < 66 dB (µV) promedio < 73 dB (µV) casi cresta; < 60 dB (µV) promedio < 73 dB (µV) casi cresta; < 60 dB (µV) promedio
EN 55011, clase A, grupo 1, radiada ¹ 30 MHz a 230 MHz 230 MHz a 1 GHz	40 dB (µV/m) casi cresta; medido a 10 m 47 dB (µV/m) casi cresta; medido a 10 m
EN 55011, clase A, grupo 1, conducida ² 0,15 a 0,5 MHz 0,5 MHz a 5 MHz 5 MHz a 30 MHz	< 66 dB (µV) decremento casi cresta con frecuencia logarítmica a 56 dB (µV); < 56 dB (µV) decremento promedio con frecuencia logarítmica a 46 dB (µV) < 56 dB (µV) casi cresta; < 46 dB (µV) promedio < 60 dB (µV) casi cresta; < 50 dB (µV) promedio
EN 55011, clase B, grupo 1, radiada ² 30 MHz a 230 MHz 230 MHz a 1 GHz	30 dB (µV/m) casi cresta; medido a 10 m 37 dB (µV/m) casi cresta; medido a 10 m
Prueba de aislamiento a hipervoltajes	
Circuitos nominales de 24 V/5 V Circuitos a tierra de 115/230 V Circuitos de 115/230V a circuitos de 115/230V Circuitos de 115/230 V a circuitos de 24 V/5 V	500 V AC (ensayo de tipo de límites de aislamiento típico) 1500 V AC (ensayo de rutina) / 2500 V DC (ensayo de tipo) 1500 V AC (ensayo de rutina) / 2500 V DC (ensayo de tipo) 1500 V AC (ensayo de rutina) / 4242 V DC (ensayo de tipo)
<p>¹ La unidad debe montarse en un soporte metálico puesto a tierra. El S7-200 debe ponerse a tierra directamente a través del soporte metálico. Los cables deben conducirse a lo largo de los soportes metálicos.</p> <p>² La unidad debe montarse en una caja metálica puesta a tierra. La línea de alimentación AC se debe equipar con un filtro EPCOS B84115EA30 o similar, teniendo el cable una longitud máxima de 25 cm entre los filtros y el S7-200. El cableado de la alimentación 24 VDC y de la alimentación de sensores se debe apantallar.</p> <p>³ Los requisitos rigen a partir de julio de 2009</p>	

Tabla A-2 Números de referencia de las CPUs

Nº de referencia	Modelo de CPU	Alimentación (nominal)	Entradas digitales	Salidas digitales	Puertos COM	Entradas analógicas	Salidas analógicas	Conector extraíble
6ES7 211-0AA23-0XB0	CPU 221	24 VDC	6 x 24 VDC	4 x 24 VDC	1	No	No	No
6ES7 211-0BA23-0XB0	CPU 221	120 a 240 VAC	6 x 24 VDC	4 salidas de relé	1	No	No	No
6ES7 212-1AB23-0XB0	CPU 222	24 VDC	8 x 24 VDC	6 x 24 VDC	1	No	No	No
6ES7 212-1BB23-0XB0	CPU 222	120 a 240 VAC	8 x 24 VDC	6 salidas de relé	1	No	No	No
6ES7 214-1AD23-0XB0	CPU 224	24 VDC	14 x 24 VDC	10 x 24 VDC	1	No	No	Si
6ES7 214-1BD23-0XB0	CPU 224	120 a 240 VAC	14 x 24 VDC	10 salidas de relé	1	No	No	Si
6ES7 214-2AD23-0XB0	CPU 224XP	24 VDC	14 x 24 VDC	10 x 24 VDC	2	2	1	Si
6ES7 214-2AS23-0XB0	CPU 224XPsi	24 VDC	14 x 24 VDC	10 x 24 VDC	2	2	1	Si
6ES7 214-2BD23-0XB0	CPU 224XP	120 a 240 VAC	14 x 24 VDC	10 salidas de relé	2	2	1	Si
6ES7 216-2AD23-0XB0	CPU 226	24 VDC	24 x 24 VDC	16 x 24 VDC	2	No	No	Si
6ES7 216-2BD23-0XB0	CPU 226	120 a 240 VAC	24 x 24 VDC	16 salidas de relé	2	No	No	Si

Tabla A-3 Datos técnicos generales de las CPUs

Nº de referencia	Nombre y descripción de la CPU	Dimensiones en mm (l x a x p)	Peso	Disipación	VDC disponible	
					+5 VDC	+24 VDC ¹
6ES7 211-0AA23-0XB0	CPU 221 DC/DC/DC 6 entradas/4 salidas	90 x 80 x 62	270 g	3 W	0 mA	180 mA
6ES7 211-0BA23-0XB0	CPU 221 AC/DC/relé 6 entradas/4 salidas de relé	90 x 80 x 62	310 g	6 W	0 mA	180 mA
6ES7 212-1AB23-0XB0	CPU 222 DC/DC/DC 8 entradas/6 salidas	90 x 80 x 62	270 g	5 W	340 mA	180 mA
6ES7 212-1BB23-0XB0	CPU 222 AC/DC/relé 8 entradas/6 salidas de relé	90 x 80 x 62	310 g	7 W	340 mA	180 mA
6ES7 214-1AD23-0XB0	CPU 224 DC/DC/DC 14 entradas/10 salidas	120,5 x 80 x 62	360 g	7 W	660 mA	280 mA
6ES7 214-1BD23-0XB0	CPU 224 AC/DC/relé 14 entradas/10 salidas de relé	120,5 x 80 x 62	410 g	10 W	660 mA	280 mA
6ES7 214-2AD23-0XB0	CPU 224XP DC/DC/DC 14 entradas/10 salidas	140 x 80 x 62	390 g	8 W	660 mA	280 mA
6ES7 214-2AS23-0XB0	CPU 224XPsi DC/DC/DC 14 entradas/10 salidas	140 x 80 x 62	390 g	8 W	660 mA	280 mA
6ES7 214-2BD23-0XB0	CPU 224XP AC/DC/relé 14 entradas/10 salidas de relé	140 x 80 x 62	440 g	11 W	660 mA	280 mA
6ES7 216-2AD23-0XB0	CPU 226 DC/DC/DC 24 entradas/16 salidas	196 x 80 x 62	550 g	11 W	1000 mA	400 mA
6ES7 216-2BD23-0XB0	CPU 226 AC/DC/relé 24 entradas/16 salidas de relé	196 x 80 x 62	660 g	17 W	1000 mA	400 mA

¹ Ésta es la alimentación de sensores de 24 VDC disponible tras tenerse en cuenta la alimentación interna de bobinas de relé y los requisitos de corriente de 24 VDC del puerto de comunicación.

Tabla A-4 Datos técnicos de las CPUs

	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP CPU 224XPsi	CPU 226
Memoria					
Tamaño del programa de usuario con edición en runtime sin edición en runtime	4096 bytes 4096 bytes		8192 bytes 12288 bytes	12288 bytes 16384 bytes	16384 bytes 24576 bytes
Datos de usuario	2048 bytes		8192 bytes	10240 bytes	10240 bytes
Respaldo (condensador de alto rendimiento)	Tip. 50 h (min. 8 h a 40°C)		Tip. 100 h (min. 70 h a 40°C)	Tip. 100 h (min. 70 h a 40°C)	
(pila opcional)	Tip. 200 días		Tip. 200 días	Tip. 200 días	
E/S					
E/S digitales	6 E/4 S	8 E/6 S	14 E/10 S	14 E/10 S	24 E/16 S
E/S analógicas	Ninguna			2 E/1 S	Ninguna
Tamaño de la imagen de E/S digitales	256 (128 E/128 S)				
Tamaño de la imagen de E/S analógicas	Ninguno	32 (16 E/16 S)	64 (32 E/32 S)		
Nº máx. de módulos de ampliación	Ninguno	2 módulos ¹	7 módulos ¹		
Nº máx. de módulos inteligentes	Ninguno	2 módulos ¹	7 módulos ¹		
Entradas de captura de impulsos	6	8	14		24
Contadores rápidos Fase simple	4 contadores en total 4 a 30 kHz		6 contadores en total 6 a 30 kHz	6 contadores en total 4 a 30 kHz	6 contadores en total 6 a 30 kHz
Dos fases	2 a 20 kHz		4 a 20 kHz	2 a 200 kHz 3 a 20 kHz 1 a 100 kHz	4 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2 a 20 kHz (solo en salidas DC)			2 a 100 kHz (solo en salidas DC)	2 a 20 kHz (solo en salidas DC)

Datos generales	
Temporizadores	256 temporizadores en total: 4 temporizadores de 1 ms, 16 temporizadores de 10 ms y 236 temporizadores de 100 ms
Contadores	256 (respaldo por condensador de alto rendimiento o pila)
Marcas internas almacenadas al desconectar la CPU	256 (respaldo por condensador de alto rendimiento o pila) 112 (almacenamiento en EEPROM)
Interrupciones temporizadas	2 con resolución de 1 ms
Interrupciones de flanco	4 flancos positivos y/o 4 flancos negativos
Potenciómetros analógicos	1 con resolución de 8 bits 2 con resolución de 8 bits
Velocidad de ejecución booleana	0.22 µs por operación
Reloj de tiempo real	Cartucho opcional Incorporado
Cartuchos opcionales	Memoria, pila y reloj de tiempo real Memoria y pila
Comunicación integrada	
Puertos (potencia limitada)	1 puerto RS-485 2 puertos RS-485
Velocidades de transferencia PPI, MPI (esclavo)	9,6, 19,2 y 187,5 kbit/s
Velocidades de transferencia Freepoint	1.2 kbit/s a 115.2 kbit/s
Longitud máx. del cable por segmento	Con repetidor aislado: 1000 m hasta 187,5 kbit/s, 1200 m hasta 38,4 kbit/s Sin repetidor aislado: 50 m
Nº máximo de estaciones	32 por segmento, 126 por red
Nº máximo de maestros	32
Punto a punto (modo maestro PPI)	SI (NETR/NETW)
Enlaces MPI	4 en total, 2 reservados (1 para una PG y 1 para un OP)

¹ Es preciso calcular la corriente necesaria para determinar cuánta energía puede suministrar la CPU S7-200 a la configuración deseada. Si se excede la corriente necesaria para la CPU, es posible que no se pueda conectar el número máximo de módulos. Consulte el anexo A para más información acerca de los requisitos de alimentación de la CPU y de los módulos de ampliación, así como el anexo B para calcular la corriente necesaria.

Tabla A-5 Datos de alimentación de las CPUs

DC		AC	
Potencia de entrada			
Tensión de entrada	20,4 a 28,8 VDC		85 V a 264 VAC (47 a 63 Hz)
Intensidad de entrada	CPU solo a 24 VDC	Carga máx. a 24 VDC	solo CPU
CPU 221	80 mA	450 mA	30/15 mA a 120/240 VAC
CPU 222	85 mA	500 mA	40/20 mA a 120/240 VAC
CPU 224	110 mA	700 mA	60/30 mA a 120/240 VAC
CPU 224XP	120 mA	900 mA	70/35 mA a 120/240 VAC
CPU 224XPsi	120 mA	900 mA	-
CPU 226	150 mA	1050 mA	80/40 mA a 120/240 VAC
Carga máx.			120/60 mA a 120/240 VAC
			140/70 mA a 120/240 VAC
			200/100 mA a 120/240 VAC
			220/100 mA a 120/240 VAC
			-
			320/160 mA a 120/240 VAC
Corriente de irrupción	12 A a 28,8 VDC		20 A a 264 VAC
Aislamiento (campo a circuito lógico)	Sin aislamiento		1500 VAC
Tiempo de retardo (desde la pérdida de corriente)	10 ms a 24 VDC		20/80 ms a 120/240 VAC
Fusible (no reemplazable)	3 A, 250 V, de acción lenta		2 A, 250 V, de acción lenta
Alimentación de sensores 24 VDC			
Tensión de sensores (potencia limitada)	L+ menos 5 V		20,4 a 28,8 VDC
Intensidad límite	1,5 A pico, límite térmico no destructivo (v. tabla A-3, carga nominal)		
Rizado/corriente parásita	Derivado de potencia de entrada		Menos de 1 V pico a pico
Aislamiento (sensor a circuito lógico)	Sin aislamiento		

Tabla A-6 Datos de las entradas digitales de las CPUs

Datos generales	Entrada de 24 VDC (CPU 221, CPU 222, CPU 224, CPU 226)	Entrada de 24 VDC (CPU 224XP, CPU 224XPsi)
Tipo de datos	Sumidero de corriente/fuente (tipo 1 IEC con sumidero de corriente)	Sumidero de corriente/fuente (tipo 1 IEC, excepto I0.3 a I0.5)
Tensión nominal	Tip. 24 VDC a 4 mA	Tip. 24 VDC a 4 mA
Tensión continua máx. admisible	30 VDC	
Sobretensión	35 VDC, 0,5 s	
Señal 1 lógica (mín.)	15 VDC a 2,5 mA	15 VDC a 2,5 mA (I0.0 a I0.2 y I0.6 a I1.5) 4 VDC a 8 mA (I0.3 a I0.5)
Señal 0 lógica (máx.)	5 VDC a 1 mA	5 VDC a 1 mA (I0.0 a I0.2 e I0.6 a I1.5) 1 VDC a 1 mA (I0.3 a I0.5)
Retardo de entrada	Seleccionable (0,2 a 12,8 ms)	
Conexión de sensor de proximidad de 2 hilos (Bero)		
Corriente de fuga admisible (máx.)	1 mA	
Aislamiento (campo a circuito lógico)	SI	
Aislamiento galvánico	500 VAC, 1 minuto	
Grupos de aislamiento	Consulte el diagrama de cableado	
Frecuencia de entrada de los contadores rápidos (HSC)		
Entradas HSC	Señal 1 lógica	Fase simple Dos fases
Todos los HSC	15 a 30 VDC	20 kHz 10 kHz
Todos los HSC	15 a 26 VDC	30 kHz 20 kHz
HC4, HC5 (sólo CPU 224XP y CPU 224XPsi)	> 4 VDC	200 kHz 100 kHz
Entradas ON simultáneamente	Todas	Todas Solo CPU 224XP AC/DC/rele: Todas a 55° C con entradas DC a 26 VDC máx. Todas a 50° C con entradas DC a 30 VDC máx.
Longitud del cable (máx.)		
Apantallado	500 m entradas normales, 50 m entradas HSC ¹	
No apantallado	300 m entradas normales	

¹ Para las entradas HSC se recomienda utilizar cables apantallados de par trenzado.

Tabla A-7 Datos de las salidas digitales de las CPUs

Datos generales	Salida de 24 VDC (CPU 221, CPU 222, CPU 224, CPU 226)	Salida de 24 VDC (CPU 224XP)	Salida de 24 VDC (CPU 224XPSi)	Salida de relé
Tipo de datos	Estado sólidoMOSFET (fuente)		Estado sólidoMOSFET (sumidero)	Contacto de baja potencia
Tensión nominal	24 VDC	24 VDC	24 VDC	24 VDC o 250 VAC
Rango de tensión	20,4 a 28,8 VDC	5 a 28,8 VDC (Q0.0 a Q0.4) 20,4 a 28,8 VDC (Q0.5 a Q1.1)	5 a 28,8 VDC	5 a 30 VDC o 5 a 250 VAC
Sobrecorriente (máx.)	8 A, 100 ms			5 A durante 4 s c/u 10% de ciclo de trabajo
Señal 1 lógica (mín.)	20 VDC a intensidad máx.	L+ menos 0,4 V a intensidad máx.	Rail de tensión externo menos 0,4V con 10K de "pull-up" a rail de tensión externo	-
Señal 0 lógica (máx.)	0,1 VDC con 10 K Ω de carga		1M + 0,4V a carga máx.	-
Intensidad nominal por salida (máx.)	0,75 A			2,0 A
Intensidad nominal por neutro (máx.)	6 A	3,75 A	7,5 A	10 A
Corriente de fuga (máx.)	10 μ A			-
Carga de lámparas (máx.)	5 W			30 W DC; 200 W AC ^{2, 3}
Tensión de bloqueo inductiva	L+ menos 48 VDC, disipación de 1 W		1M + 48 VDC, disipación de 1 W	-
Resistencia en estado ON (contactos)	0,3 Ω tip. (0,6 Ω máx.)			0,2 Ω (máx. si son nuevas)
Aislamiento galvánico	500 VAC, 1 minuto			-
Aislamiento galvánico (campo a circuito lógico)	-			1500 VAC, 1 min.
Circuito lógico a contacto	-			100 M Ω
Resistencia (circuito lógico a contacto)	-			
Grupos de aislamiento	Consulte el diagrama de cableado			Consulte el diagrama de cableado

Retardo (máx.)				
Off a on (μ s)	2 μ s (Q0.0, Q0.1), 15 μ s (todas las demás)	0,5 μ s (Q0.0, Q0.1), 15 μ s (todas las demás)		-
On a off (μ s)	10 μ s (Q0.0, Q0.1), 130 μ s (todas las demás)	1,5 μ s (Q0.0, Q0.1), 130 μ s (todas las demás)		-
Conmutación	-			10 ms
Frecuencia de impulsos (máx.)	20 kHz ¹ (Q0.0 y Q0.1)	100 kHz ¹ (Q0.0 y Q0.1)	100 kHz ¹ (Q0.0 y Q0.1)	1 Hz
Vida útil mecánica	-			10.000.000 (sin carga)
Vida útil de los contactos	-			100.000 (carga nominal)
Salidas ON simultáneamente	Todas a 55° C (horizontal), todas a 45° C (vertical)			
Conexión de dos salidas en paralelo	Sí, sólo salidas de un mismo grupo			No
Longitud del cable (máx.)				
Apantallado	500 m			
No apantallado	150 m			

¹ En función del receptor de impulsos y del cable, un resistor de carga externo (al menos 10% de la intensidad nominal) puede mejorar la calidad de señal de los impulsos y la inmunidad a interferencias.

² La vida útil de los relés con carga de lámparas se reducirá en 75%, a menos que la sobrecorriente al conectar se reduzca por debajo de la sobrecorriente límite de la salida.

³ El vataje límite de la carga de lámparas es aplicable a la tensión nominal. Reduzca el vataje límite proporcionalmente a la tensión conmutada (p. ej. 120 VAC 100 W).

ANEXO F. Ficha técnica sensor de flujo

Especificaciones técnicas		Dimensiones																																																					
Temperatura máxima:	-20 a +120 °C (estándar) Opción: -220 °C y +350 °C																																																						
Rango de viscosidad:	1-30 mm ² /s (calibrado por visc.)																																																						
Linealidad:	± 1%																																																						
Repetibilidad:	aprox. 0.05% a 0.1%																																																						
Tiempo de respuesta:	5 a 50 ms																																																						
Filtro recomendado:	100 µm (hasta TUV-1205), 300 µm (desde TUV-1206)																																																						
Material:	Cubierta/secciones interiores: acero inoxidable 1.4305 Rueda de turbina: ac. inox. 1.4122 Cojinetes: HM	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modelo</th> <th>DN</th> <th>L</th> <th>AF</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>TUV-1200</td><td>4</td><td>57</td><td>30</td></tr> <tr><td>TUV-1201</td><td>4</td><td>57</td><td>30</td></tr> <tr><td>TUV-1202</td><td>5</td><td>70</td><td>30</td></tr> <tr><td>TUV-1203</td><td>5</td><td>70</td><td>30</td></tr> <tr><td>TUV-1204</td><td>7</td><td>74</td><td>30</td></tr> <tr><td>TUV-1205</td><td>9</td><td>79</td><td>30</td></tr> </tbody> </table>	Modelo	DN	L	AF	TUV-1200	4	57	30	TUV-1201	4	57	30	TUV-1202	5	70	30	TUV-1203	5	70	30	TUV-1204	7	74	30	TUV-1205	9	79	30	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modelo</th> <th>DN</th> <th>L</th> <th>AF</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>TUV-1206</td><td>11</td><td>86</td><td>30</td></tr> <tr><td>TUV-1207</td><td>13</td><td>97</td><td>41</td></tr> <tr><td>TUV-1208</td><td>19</td><td>125</td><td>46</td></tr> <tr><td>TUV-1209</td><td>28</td><td>161</td><td>60</td></tr> <tr><td>TUV-1210</td><td>30</td><td>181</td><td>60</td></tr> </tbody> </table>	Modelo	DN	L	AF	TUV-1206	11	86	30	TUV-1207	13	97	41	TUV-1208	19	125	46	TUV-1209	28	161	60	TUV-1210	30	181	60
Modelo	DN	L	AF																																																				
TUV-1200	4	57	30																																																				
TUV-1201	4	57	30																																																				
TUV-1202	5	70	30																																																				
TUV-1203	5	70	30																																																				
TUV-1204	7	74	30																																																				
TUV-1205	9	79	30																																																				
Modelo	DN	L	AF																																																				
TUV-1206	11	86	30																																																				
TUV-1207	13	97	41																																																				
TUV-1208	19	125	46																																																				
TUV-1209	28	161	60																																																				
TUV-1210	30	181	60																																																				
Alimentación auxiliar:	8.5 a 29 V _{DC}																																																						
Salida:	NPN/OC pasiva, colector abierto																																																						
Nivel de voltaje:	U _{máx} 30 V U _{Alta} > U _{-I_{sal}} [mA] x 1.3 kΩ U _{Baja} < 0.6 V + I _{sal} [mA] x 1.3 kΩ																																																						
Conexión eléctrica:	conector de 5-pines de amfenol																																																						

Datos de pedido (Ejemplo: TUV-1200)

Modelo	Conexión rosca hembra (dimensión "C")	Rango de medición [L/min]	Factor K promedio* Imp./L		Presión máxima	Frecuencia* [Hz] a FS	
TUV-1200	G 1/4	0.3 a 1.5	32000	32500	640 bar	1000	1000
TUV-1201	G 1/4	0.5 a 4	24000	19000	640 bar	1700	1250
TUV-1202	G 3/8	0.8 a 6	17800	17800	640 bar	1740	1740
TUV-1203	G 3/8	1.2 a 10	11000	11000	640 bar	1750	1750
TUV-1204	G 3/8	2 a 20	5200	5200	640 bar	1800	1800
TUV-1205	G 3/8	3.3 a 33	1900	4200	640 bar	1080	2200
TUV-1206	G 3/8	6 a 60	1300	2730	400 bar	1350	2700
TUV-1207	G 3/4	8.5 a 85	900	1900	400 bar	1300	2600
TUV-1208	G 1	15 a 150	310	650	100 bar	925	1600
TUV-1209	G 1 1/2	30 a 360	155	320	100 bar	960	2000
TUV-1210	G 1 1/2	35 a 400	130	270	100 bar	860	1850

* La tapa de la rueda es dividida para viscosidades más altas (> 8 mm²/s), los factores K y frecuencias son entonces duplicadas.
La sección transversal libre "DN" debe permanecer libre cuando se utiliza un adaptador de conexión.

Indicadores digitales y transductores ver páginas 235-238.

ANEXO G. Sensor de temperatura PT100

Características del producto		
Sensor de temperatura para la conexión de una unidad de evaluación con una tensión de alimentación máxima de 32 V		
Conexión por conector		
Conexión de proceso: ½" NPT		
Einbaulänge EL: 50 mm		
contactos dorados		
Conexión a la unidad de evaluación TP / TR		
Rango de medición: -40...150 °C / -40...302 °F		
Elemento de medición: 1 x Pt 100, según DIN EN 60751, clase A		
Aplicación		
Aplicación	fluidos líquidos y gaseosos	
Profundidad de inmersión mínima [mm]	15	
Datos eléctricos		
Conexión a la unidad de evaluación	TP / TR	
Clase de protección	III	
Rango de configuración / medición		
Rango de medición [°C/°F]	-40...150 / -40...302	
Precisión / diferencias		
Exactitud	± (0,15 K + 0,002 x t)	
Tiempos de reacción		
Tiempo de respuesta dinámico T05 / T09 [s]	1 / 3 *)	
Condiciones ambientales		
Resistencia a la presión [bar]	160	
Temperatura ambiente [°C]	-25...80	
Grado de protección	IP 68 / IP 69K	
Homologaciones / pruebas		
Resistencia a los choques	DIN EN 60068-2-27:	50 g (11 ms)
Resistencia a las vibraciones	DIN EN 60068-2-6:	10 g (10...2000 Hz)
MTTF [años]	22831	
Datos mecánicos		
Conexión de proceso	½" NPT	
Materiales en contacto con el fluido	Inox (1.4404 / 316L)	
Longitud de la varilla L [mm]	50	
Einbaulänge EL [mm]	50	
Materiales de la carcasa	Inox (1.4404 / 316L)	