

# Application of Reliability Centered Maintenance Tools to Standardize Processes Required by ISO/IEC 17025

Jorge Luis Castro Valdivia, Ms.<sup>1</sup>, Cesar Castillo Cáceres, Ms.<sup>2</sup>, Deidamia Chani Ollachica, Ms.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú, jlcastro@ucsm.edu.pe

<sup>2</sup>Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú, ccastill@ucsm.edu.pe

<sup>3</sup>Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú, dchani@ucsm.edu.pe

*Abstract— The purpose of this work was to apply the maintenance model based on RCM reliability, stipulated in Standards JA-1011, JA 10-12 and ISO 14224 and then analyze the effect on the conditions required by ISO / IEC 17025 approves the laboratory test processes. The application process is divided into the following stages: A first stage consisted in the application of an RCM questionnaire adapted to our need, which has served as an instrument to verify the current state of the laboratory organization, the equipment, and the perception of the functions of each one. These results allowed us to analyze the status with everyone, explain the objectives and define the work team. The second stage consisted of making a failure mode analysis, starting from the taxonomy and the division of systems, and defining the effect of failures by system. The results obtained above provided us with a real condition for the implementation of a maintenance calendar to the universal testing machine (EUT/C), proposing a work model based on Preventive and Predictive Maintenance, verifying the amount of maintenance hours, availability and reliability, such as parameters and indicators to improve. The last stage consisted of analyzing the maintenance procedures of the equipment, the selection of tasks and documents proposed to coordinate the information and monitoring required by ISO / IEC 17025 and internal laboratory standards.*

*Keywords—Maintenance, RCM, ISO-17025*

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.704>

**ISBN:** 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

# Aplicación de Herramientas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Homologar Procesos Requeridos por la Norma ISO/IEC 17025

Jorge Luis Castro Valdivia, Ms.<sup>1</sup>, Cesar Castillo Cáceres, Ms.<sup>2</sup>, Deidamia Chani Ollachica, Ms.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú, jlcastro@ucsm.edu.pe

<sup>2</sup>Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú, ccastill@ucsm.edu.pe

<sup>3</sup>Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú, dchani@ucsm.edu.pe

**Resumen** – El propósito de este trabajo fue aplicar el modelo de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM, estipulado en las Normas JA-1011, JA 10-12 e ISO 14224 para luego analizar el efecto sobre las condiciones requeridas por la norma ISO/IEC 17025 para procesos de laboratorio. El proceso se divide en las siguientes etapas:

Una primera etapa consistió en la aplicación de un cuestionario RCM adaptado a nuestra necesidad, el cual ha servido como instrumento para verificar el estado actual de la organización del laboratorio, el equipamiento y la percepción de las funciones de cada uno.

Estos resultados nos permitieron analizar el estado, explicar los objetivos y definir el equipo de trabajo.

La segunda etapa consistió en realizar un análisis de modos de falla, partiendo de la taxonomía y la división de sistemas, definiendo el efecto de las fallas por sistema.

Los resultados obtenidos anteriormente nos brindaron una condición real para la implementación de un calendario de mantenimiento a la máquina de ensayo universal (EUT/C), proponiendo un modelo de trabajo basado en el Mantenimiento Preventivo y Predictivo, verificando la cantidad de horas de mantenimiento, disponibilidad y confiabilidad, como parámetros e indicadores a mejorar.

La última etapa consistió en el análisis de los procedimientos de mantenimiento de los equipos, la selección de tareas y documentos propuestos para coordinar la información y el seguimiento requerido por la norma ISO/IEC 17025 y las normas internas del laboratorio.

**Palabras clave**—Mantenimiento, RCM, ISO-17025

**Abstract**– The purpose of this work was to apply the maintenance model based on RCM reliability, stipulated in Standards JA-1011, JA 10-12 and ISO 14224 and then analyze the effect on the conditions required by ISO / IEC 17025 approves the laboratory test processes. The application process is divided into the following stages:

A first stage consisted in the application of an RCM questionnaire adapted to our need, which has served as an instrument to verify the current state of the laboratory organization, the equipment, and the perception of the functions of each one. These results allowed us to analyze the status with everyone, explain the

objectives and define the work team.

The second stage consisted of making a failure mode analysis, starting from the taxonomy and the division of systems, and defining the effect of failures by system.

The results obtained above provided us with a real condition for the implementation of a maintenance calendar to the universal testing machine (EUT/C), proposing a work model based on Preventive and Predictive Maintenance, verifying the amount of maintenance hours, availability and reliability, such as parameters and indicators to improve.

The last stage consisted of analyzing the maintenance procedures of the equipment, the selection of tasks and documents proposed to coordinate the information and monitoring required by ISO / IEC 17025 and internal laboratory standards.

**Keywords**—Maintenance, RCM, ISO-17025

## I. INTRODUCCIÓN

La Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica, imparte a través de su personal docente, enseñanzas teóricas que son reforzadas mediante la práctica y ensayos en sus laboratorios; de esta manera se logra comprender y concretar el conocimiento con la práctica, logrando competencias acordes con las exigencias del mercado.

El estudio de materiales es una de las herramientas más importantes del Ingeniero Mecánico por que le permite conocer el comportamiento de los metales, los compósitos y los sintéticos que hoy se usan en todos los diseños de máquinas y estructuras de cualquier dispositivo.

En este contexto se hizo necesaria la creación del laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM), como un centro que permita desarrollar habilidades en el conocimiento, comportamiento y uso de los diversos materiales usados en la especialidad.

Actualmente, las instalaciones del LEM cuentan con diferentes áreas formativas para prácticas y ensayos; las mismas que obedecen a los requerimientos según la programación compartida con la carrera de Ingeniería Industrial. El laboratorio cuenta con una disposición adecuada donde se encuentran equipos de ensayos de

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.704>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

materiales de tipo destructivo, análisis de microestructura y microscopía, preparación de probetas y testigos y finalmente ensayos no destructivos, contando con una gran diversidad de equipos que sirven para la realización de prácticas en los cursos de Ciencias e Ingeniería de Materiales, Materiales de Fabricación y Mecánica de Materiales Avanzado

Luego de una etapa de consolidación, en el año 2015 se decide crear el Centro de Producción de Bienes y Servicios del Laboratorio de Ensayo de Materiales. Esta razón hace que esta área requiera especial interés en su gestión, siendo necesarias buenas políticas y estrategias de operación y mantenimiento con el objetivo de aplicar a normas de calidad en laboratorios para ofrecer servicios de ensayos homologados y respaldados por buenas prácticas de gestión a todo nivel.

### A. Descripción del Problema.

La ingeniería del mantenimiento constituye en la actualidad una actividad necesaria en todos los procesos que encierran producción o servicios, Particularmente un laboratorio de ensayos de materiales requiere crear métodos y procedimientos para mantener y preservar los activos de la institución, con el propósito de obtener un uso eficiente y simultáneamente una mística que oriente sus actividades hacia la perfección y la necesaria validez de sus ensayos [1], como propiamente se espera de cada, equipo.

Basados en observaciones previas del LEM se puede sintetizar la existencia de los siguientes problemas

1) *No existe la aplicación de un modelo de calidad para las operaciones generales del Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM).*

2) *No se aplica un modelo de mantenimiento en el laboratorio, principalmente, por que actualmente su uso es limitado debido a que la mayoría de sus actividades son esporádicas o están centradas en educación de pregrado con muy poca relación hacia servicios, lo que implica un uso por debajo de su capacidad instalada.*

3) *Insuficiente documentación sobre procesos y manuales de equipos a disposición de los usuarios del área*

4) *Ausencia de procesos homologados, ligados a las actividades de laboratorios experimentales y usualmente basados en normas (ISO/IEC 17025).*

### B. Metodología

El proceso está basado en dos tiempos, se requiere analizar el estado actual y los patrones de desempeño actuales.[2]

La segunda parte es analizar una propuesta particular de mantenimiento aplicado a la máquina de ensayos de tracción-compresión (ETC), que relacione las necesidades de trabajo con las exigencias de la norma ISO/IEC 17025.[3]

## II. EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DE RCM BAJO LA NORMA ISO/IEC 17025

El primer paso fue la creación de un grupo de trabajo encabezado por un facilitador y cinco miembros relacionados al proceso: operación, mantenimiento y especialista.

### A. Las Funciones y las Fallas

La aplicación del modelo RCM tiene como base el análisis del modo de fallas, sus consecuencias y la causa raíz.

Las funciones primarias y secundarias las define el usuario, básicamente en función de un contexto o lo esperado por una maquina o proceso. Es muy importante para el proceso de RCM definir las funciones de cada recurso en su contexto operativo, junto con las normas de rendimiento asociadas (SAE-JA 1011, n.d).[4]

El proceso RCM permite generar programas de mantenimiento preventivo o predictivo a partir de un análisis de las consecuencias de las fallas funcionales del sistema, seguido de un análisis de la relación entre cada tarea y los tipos de falla para determinar si la tarea es esencial desde la óptica de seguridad y el medio ambiente o desechable desde el punto de vista costo/beneficio.[5]

TABLA I  
ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL

CONCEPTUAL		OPERACIONAL	
CONCEPTO	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICA E INSTRUMENTO
El estudio del Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM) de la UCSM en su funcionamiento operativo está asociado al mantenimiento del equipo definido. Se debe analizar y precisar el estado actual de la organización, infraestructura, equipamiento y funciones operativas del equipo, las fallas funcionales, las causas, efectos, consecuencias, acciones de prevención y monitoreo de los modos de fallas.	Análisis del laboratorio LEM	Infraestructura Personal Instrumentos Materiales de trabajo Comunicación	Observación y cuestionario a los relacionados al mantenimiento
	Análisis de procedimientos de ensayos de tracción - compresión	Normas Procesos Homologados	Observación y cuestionario a operadores
	Análisis del área de ensayos de tracción - compresión	Análisis y evaluación de activos críticos	Observación y cuestionario a operadores
	Funciones	Análisis de actividades primarias y secundarias de la máquina de ETC	Observación / cuestionario / análisis
	Fallas funcionales	Análisis y evaluación del estándar y medidores de falla	Observación / cuestionario / análisis
	Causas de las fallas	Percepción de causas de fallas	Observación / cuestionario / análisis
	Efectos de las fallas	Percepción de efectos por fallas	Observación / cuestionario / análisis
	Consecuencias de las fallas	Percepción de importancia de fallas evidentes y ocultas	Observación / cuestionario / análisis
	Predicción y prevención de fallas	Percepción de acciones realizadas ante fallas	Observación / cuestionario / análisis
	Acciones predeterminadas	Frecuencia y tasas de acciones de fallas.	Observación / cuestionario / análisis
La ausencia de modelos de calidad y mantenimiento llevan a las siguientes consecuencias	Gestión de calidad según ISO/IEC 17025	Capitulo 4 de la norma	Observación y cuestionario a los responsables del laboratorio
	Gestión de mantenimiento, método RCM	A capítulos de la norma SAE JA 1011, SAE JA 1012	Observación y cuestionario a los colaboradores de mantenimiento
	Aplicación metodológica de RCM	Percepción e implementación de estrategia RCM	Observación / cuestionario / análisis
	Integración de procesos y procedimientos	Percepción e implementación de procesos y procedimientos	Observación / cuestionario / análisis

TABLA II  
SIETE PREGUNTAS BÁSICAS DEL RCM

Establece Objetivos. Recoge la información básica. Define el problema	¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente (funciones)?
	¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
	¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?
	¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?
Establece consecuencias.	¿De qué manera afecta cada falla (consecuencias de falla)?
Define estrategias de Mantenimiento	¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas intervalos de tareas)?
	¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible (acciones predeterminadas)?

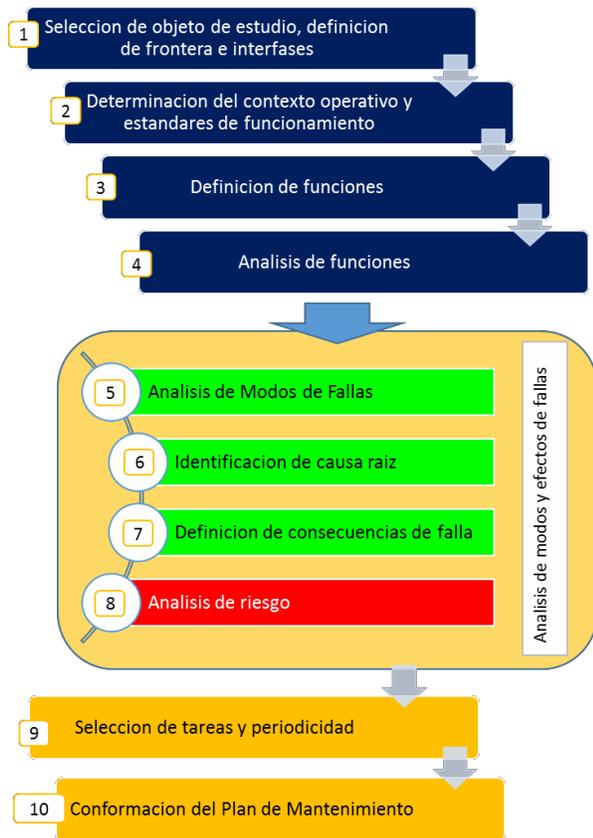


Fig. 1 Diagrama de flujo aplicado en el LEM

### B. La Norma ISO/IEC 17025

Es la norma más aplicada para esta actividad y constituye un aval de la competencia técnica y una garantía de confiabilidad a nivel nacional e internacional. Es una herramienta para facilitar el comercio internacional y la apertura de mercados. La Norma concede una relación de condiciones para que los laboratorios de ensayo y calibración

puedan demostrar que aplican un sistema de gestión adecuado y competente generando resultados técnicamente válidos y aceptados en todo lugar.[6]

Con esta herramienta se facilita el intercambio de información, experiencia científica y la cooperación entre laboratorios.

TABLA III  
INDICADORES ISO/IEC 17025 PARACALIBRACIÓN DE EQUIPOS

Indicador ISO/IEC	RCM asegura que:
Identificación de los requerimientos de medición	Se cumple con la exactitud requerida.
Selección de los equipos de prueba	Se evalúan los equipos con respecto a su capacidad para proporcionar la medición requerida
Verificación de los equipos de prueba	los equipos poseen la capacidad de realizar las mediciones con la precisión y exactitud requeridas
Protección de los equipos de inspección	se preservan contra las condiciones ambientales
	se manipulan, transportan y almacenan adecuadamente solamente son ajustados y calibrados por personal autorizado
Documentación	se siguen los procedimientos de prueba
	se poseen criterios de aceptación
Calibración	se programan las calibraciones periódicas
	se realizan satisfactoriamente
Indicación del estado de calibración	cada equipo posee su etiqueta de calibración
	se tienen registros de las calibraciones

## III. APLICACIÓN DEL MÉTODO RCM EN LA MAQUINA DE TRACCIÓN – COMPRESIÓN (ETC)

### A. Análisis de contexto operacional

La máquina ETC debe estar disponible 14 horas diarias de lunes a viernes, dependiendo del semestre y el curso que se desarrolle trabaja en turnos de 1.5 horas cada uno, las actividades se realizan bajo estándares de calidad ambiental y seguridad necesarios, los cuales son supervisados por los docentes a cargo de cada turno, las pruebas se realizan por lotes sin redundancia de máquinas; el mantenimiento normal es de dos tipos, preventivo y correctivo, el primero se divide en dos tareas principales la primera implica el cambio de aceite del sistema hidráulico frecuencia anual, siendo la segunda la limpieza interna con aire a presión con una frecuencia anual. El mantenimiento correctivo se realiza cuando se produce una falla de cualquier componente del equipo y tiene un tiempo de reparación promedio de 1.5 meses debido a que se tiene que importar. En cuanto a los repuestos más comunes son fusibles, contactores termo magnéticos y cables entre otros.

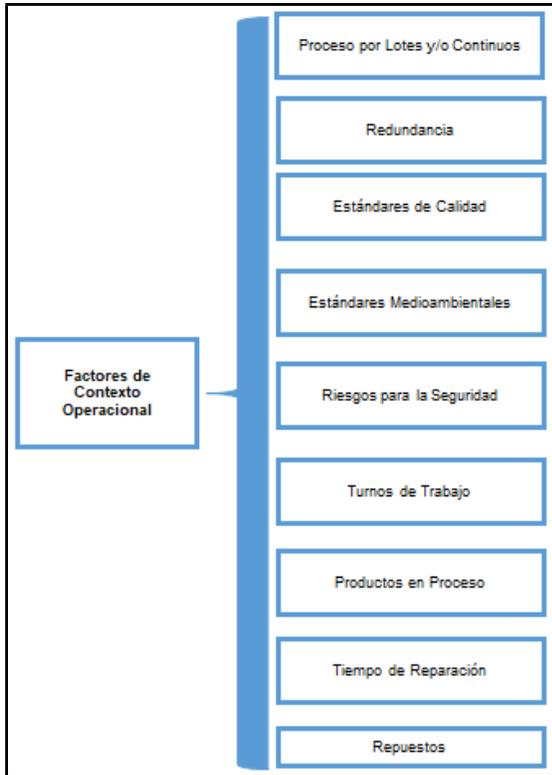


Fig. 2 Contexto operacional de la máquina de tracción -compresión

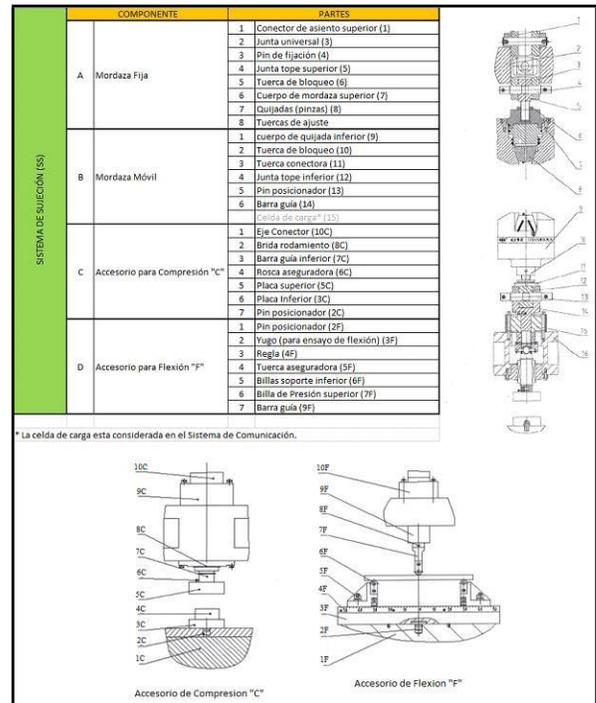


Fig. 4 Sistema de Sujeción de la maquina ETC

Adaptando la norma ISO 14224 [7] en la aplicación de estrategias de confiabilidad se determinan los Sistemas, Componentes y Partes que conforman la máquina para luego definir las funciones principales y secundarias (ver Fig. 3).

La figura 4 detalla el caso del Sistema de Sujeción y la tabla V detalla el análisis de funciones y fallas del mencionado Sistema.

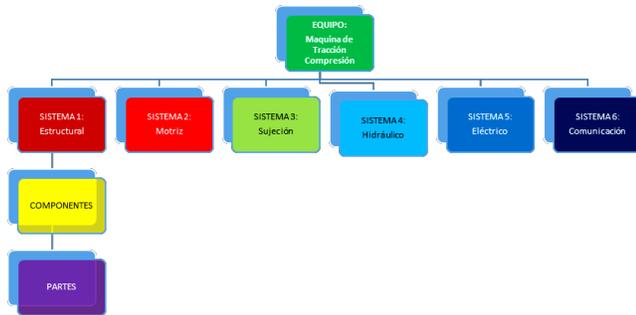


Fig. 3 Sistemas y componentes de la maquina ETC del LEM

TABLA IV  
FUNCIONES Y FALLAS DEL SISTEMA DE SUJECCION DE LA MAQUINA ETC

SISTEMA DE SUJECIÓN		
Función primaria:	Falla total	Falla Parcial
Sujetar una probeta por tracción hasta una máxima fuerza de 300 KN	No sujeta la pieza	No soporta hasta 300 KN
FUNCIONES SECUNDARIAS		
Función de Integridad Ambiental	Falla total	Falla Parcial
Controlar derrame de materiales fluidos como aceite, grasas.	Derrama aceite o grasas	Ligeros ruidos
Controlar ruido	Genera ruidos	Olor irregular
Funciones de Seguridad	Falla total	Falla Parcial
Sujetar las probetas remotamente minimizando el riesgo sobre los operadores.	No sujeta la probeta	Mando defectuoso
		insuficiente presión hidráulica
Función de Integridad Estructural	Falla total	Falla Parcial
Soportar las cargas de ensayo entre pinzas	Las pinzas se quiebran	Fisura de algún elemento
		Las pinzas de las mordazas resbalan
Función de control	Falla total	Falla Parcial
Controlar la sujeción adecuada de la probeta	perdida de control sobre las mordazas	sujeción defectuosa de la probeta
Función de Contención	Falla total	Falla Parcial
No aplica		
Función de Confort	Falla total	Falla Parcial
Facilitar el fácil manejo y observación visual de la operación	No se puede observar la operación (operación incomoda)	Dificultades para apreciar el proceso
Función de Apariencia	Falla total	Falla Parcial
Mostrar apariencia sobria en color y estado superficial del equipo	perdida de la apariencia original del equipo	fugas de fluidos, suciedad evidente
		Corrosión
Funciones de Protección	Falla total	Falla Parcial
No aplica		
Función de Eficiencia / Economía	Falla total	Falla Parcial
No aplica		
Funciones de Superfluas	Falla total	Falla Parcial
No aplica		
Función de Confiabilidad	Falla total	Falla Parcial
No aplica		

El análisis de criticidad de sistemas e inclusive de partes para estratificar un modo de falla y analizar su influencia no es suficiente, el análisis de modo de fallas (AMEF) precede a un estudio de criticidad debido a que es necesario determinar la falla e inclusive el efecto sobre el equipo o la economía del proceso o más aun (como es el caso de los fallos ocultos) en los resultados imprevistos y efectos en el futuro.[8] Los siguientes cuadros permitieron describir las posibilidades de fallas y los efectos a distintos niveles según la Norma SAE JA 1012.[9]

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA							
ESCUELA DE POSGRADO -MAESTRIA EN INGENIERIA DE MANTENIMIENTO							
EPG		APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA HOMOLOGAR PROCESOS DEL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA EPIMMEM					PAG.
ELABORADO POR		ING. JORGE LUIS CASTRO VALDIVIA					AÑO: 2020
Equipo	MÁQUINA DE ENSAYO DE TRACCIÓN / COMPRESIÓN		Responsable:				
Sistema	SUJECCIÓN						
Falla funcional	Modo de Fallo			Causalidad	Cauza Raiz	Error humano	Efecto de Falta
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7	
Falla del Sistema de Sujeción	Falla Mordaza Superior	Falla quijadas (pinzas)	No sujeta la probeta	Falta presión	Mordaza ajustada de probetas		
				Falta presión sobre probeta	Pinzas ajustadas presión		
				Perdida de gripp aceite	Mala operación de las mordazas		
			Deslizamiento de la probeta	Mal montaje	Mala operación presión		
			Fractura de Pinzas	Exceso de carga	Mal material		
				Mal Montaje	Mala operación		
			Genera ruidos	en sistema	Error montaje		
				Mal montaje	Mala operación		
					corrosión		
		Fallan resortes de retorno	regresan	rendidos	Mal material		
				desengancha	Mal montaje		
		Falla tuerca de bloqueo	bloqueo no	incorrectamente	Error montaje		
			bloqueo	Junta erosionada			
			bloqueo	incorrectamente	Error montaje		
				aerolito	meteorito		

Fig. 5 Cartilla de Análisis de Modo de Fallo y Efecto de Fallo por Sistema (parcial).

Para el proceso de evaluación usamos una Hoja de Decisión RCM [10] con una codificación propia para los sistemas, componentes, partes, modos de falla, efectos y tareas. Este procedimiento permite llegar a una combinación lógica de respuestas en las que Moubray concede una serie de preguntas orientadas a centrar el problema y las condiciones que puedan alterar una toma de decisiones.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA												
ESCUELA DE POSGRADO -MAESTRIA EN INGENIERIA DE MANTENIMIENTO												
EPG		APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA HOMOLOGAR PROCESOS DEL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA EPIMMEM					PAG.					
ELABORADO POR		ING. JORGE LUIS CASTRO VALDIVIA					AÑO: 2020					
Equipo	MÁQUINA DE ENSAYO DE TRACCIÓN / COMPRESIÓN		Responsable:									
Sistema	ESTRUCTURA											
HOJA DE DECISIONES RCM												
Equipo No.:		Tipo:		Fecha Inicio:	Fecha final:	Equipo de trabajo:	Revisado por:					
Lider:		Aprobado por:		fecha:	Rev. No. Hoja							
Gearing Towards a Pro-active Maintenance System		Objetivo:		Tarea propuesta		Clasificación de Mantenimiento (Codigo propuesto)						
Función		H1	H2	H3	H4	Intervalo Inicial						
Falla Funcional		S1	S2	S3	S4	Responsable						
Modo de Fallo		O1	O2	O3	O4							
Consecuencia		N1	N2	N3	N4							
Acción		H5	H6	H7	H8							
Modo de Fallo		F1	F2	F3	F4							
T1	A	T	N	N	N	N	Y	Revisar superficies y niveles del equipo	X		n.a	Personal Propio
T1	A	T	N	N	N	N	Y	Revisar superficies y niveles del equipo	X		n.a	Personal Propio
T1	B	T	N	N	N	N	Y	Revisar Sistemas del equipo			n.a	Personal Propio
T1	C	T	N	N	N	N	Y	Revisar Sistemas del equipo			n.a	Personal Propio
T1	D	T	N	N	N	N	Y	Considerar Calibración del Equipo	X		4 mo	Servicio Externo

Fig. 6 Hoja de decisiones aplicado al equipo (parcial).

### B. Propuesta de Gestión de Mantenimiento

Se sugiere que, para describir una tarea proactiva basada en el análisis de fallas, es necesario describir la actividad en un documento lo suficientemente claro que no admita lugar a dudas o suposiciones que dependan de otras personas para interpretar la acción. Se plantean tres niveles de mantenimiento:

Primer Nivel: Relacionado a las actividades mínimas o básicas que deben realizarse sobre el equipo, en esencia debe ser realizado por cualquier personal que diariamente trabaja con el equipo y que requiere poca preparación para ejecutarlo.

- Instalación y remoción de piezas de operación común.
- Inspección de estado exterior de piezas y sistemas del equipo (rupturas, golpes, rayaduras, corrosión, etc.)
- Operaciones de mantenimiento preventivo comunes o indicadas en el manual de operación.
- Detección de ruidos anómalos en el equipo.
- Detección de vibraciones anómalas.
- Inspección de niveles de aceite.
- Suministrar grasa en los puntos accesibles.
- Localizar fugas (aceite, refrigerante, etc.)
- Cambio de filtros externos.
- Purga de líneas hidráulicas y neumáticas.
- Limpieza exterior de la maquinaria

Segundo Nivel: Requiere de mayor especialización, se considera las operaciones de mantenimiento preventivo y aquellas correctivas que requieren montaje y desmontaje de piezas y sistemas de manera controlada y que no requieren instrumentos especializados más allá de los usados de manera común en el laboratorio; pueden requerir apoyo logístico.

- Localizar y corregir fugas de fluidos o aire, inmediatamente de ser posible.
- Cambio de filtros internos.
- Sustitución de piezas comunes sometidas a desgaste por operación.
- Inspección de conexiones eléctricas y digitales.
- Analizar y decidir la tercerización de cualquier operación de mantenimiento sobre el equipo.

Tercer Nivel: Requiere de trabajo especializado y apoyo logístico, se considera las operaciones de mantenimiento predictivo y correctivo especializado. En este nivel se considera la acción del representante de la máquina y su servicio especializado o el servicio especializado de terceros. También se considera la posibilidad de modificaciones y rediseño de elementos y partes del equipo en busca de mejoras operativas o funcionales.

### C. Monitoreo del Mantenimiento

Para esta función se requieren cuatro documentos:

- Ficha u orden de trabajo
- Hoja de procedimientos (si se requiere)

- Historial de operaciones de mantenimiento.
- Informes de ejecución (realizado por terceros)

El monitoreo y evaluación del mantenimiento será necesario la aplicación de hojas de cálculo, herramientas gráficas y software para evaluar índices que sirvan en la toma de decisiones. Los siguientes índices o KPI's sugeridos pueden darnos un margen sobre el funcionamiento y operación adecuados:

- Disponibilidad y confiabilidad
- Numero de ensayos por calibración (NEC)
- Frecuencia de calibración anual (FCA)
- Frecuencia de Calibración vs Disponibilidad

Si bien es cierto que el modelo RCM sugiere analizar una matriz de priorización de las actividades por sistema de cada equipo, el caso evidencia que no es necesario este análisis debido a que las posibilidades de fallas que tienen efecto sobre la ejecución de un ensayo solo tienen una conclusión: la prueba no se considera válida.

Por ello es importante declarar cuadros que eviten esta posibilidad y que el equipo cuente con una secuencia documental que permita su trazabilidad.

Esta tabla se llena con una codificación de operaciones y actividades que simplifican su interpretación, para esto se consideran 52 semanas de un año con 5 días hábiles por semana y 10 horas por día resultando 2600 horas hábiles por año.

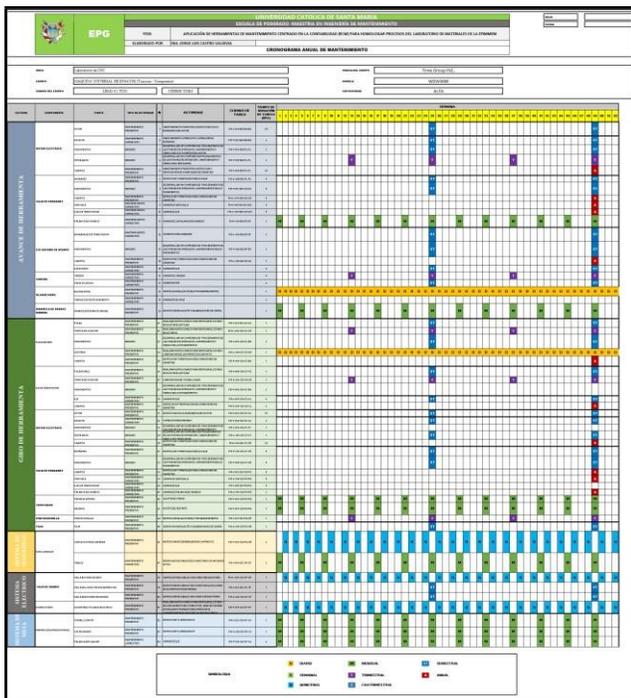


Fig. 7 Hoja de Cronograma Anual de Mantenimiento (parcial).

La tabla V muestra el detalle de los tiempos empleados por tipo de mantenimiento, por nivel y por sistema.

TABLA V  
HORAS DE MANTENIMIENTO ANUAL DE LA MAQUINA ETC

SISTEMA	HORAS DE MANTENIMIENTO					TOTAL
	Horas por tipo de mantenimiento		Horas por nivel de mantenimiento			
	MP (preventivo)	MD (predictivo)	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
SISTEMA ESTRUCTURAL	34.32	2	28.12	6.2	2	36.32
SISTEMA MOTRIZ	3	2	0	1.5	3.5	5
SISTEMA SUJECCION	39.5	0	38.8	0.7	0	39.5
SISTEMA HIDRAULICO	21.1	5	16.2	3.9	6	26.1
SISTEMA ELECTRICO	2.1	0	0.9	1.2	0	2.1
SISTEMA COMUNICACION	12	1	0	1.8	11.2	13
TOTAL	112.02	10	84.02	15.3	22.7	122.02

La figura 8 muestra el porcentaje demandado de horas de mantenimiento por cada sistema.

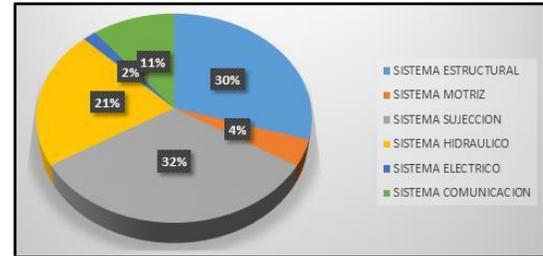


Fig. 8 Hoja de Cronograma Anual de Mantenimiento.

La siguiente tabla muestra el efecto de la propuesta RCM sobre las acciones demandadas por la norma ISO/IEC 17025

TABLA VI  
FUNCIONES DE ACCION DIRECTA DE RCM  
ISO/IEC 17025

CARGO	FUNCION ISO/IEC 17025	FUNCION RCM
Jefe de Laboratorio	1 Cumplir y hacer cumplir las políticas, procedimientos e instrucciones que aseguran la calidad de los resultados de los ensayos.	1 Organizar el equipo de trabajo y los procedimientos orientados a un plan de mantenimiento de equipos
	2 Gestionar las acciones de mejora continua	
	3 Autorizar, controlar y actualizar los documentos en áreas legales, técnicas, de procedimientos, instructivos y registros que generen una adecuada trazabilidad	2 Autorizar, controlar y actualizar los documentos en áreas técnicas, de procedimientos, instructivos y registros.
	4 Garantizar una adecuada comunicación con los clientes y usuarios del laboratorio	
	5 Generar procedimientos y registros de reclamos	
	6 Gestionar el estado y mantenimiento de los equipos generando registros que permitan una adecuada trazabilidad de las operaciones	3 Gestionar el estado operativo y mantenimiento de los equipos
	7 Gestionar la trazabilidad metrológica y secuencia de la calibración e incertidumbre de equipos	4 Gestionar la secuencia de calibración de equipos
	8 Gestionar acciones preventivas sobre no conformidades	5 Gestionar acciones preventivas y correctivas sobre no conformidades de orden operativo
Supervisor de Calidad	1 Auditar las políticas, procedimientos estándar e instrucciones de trabajo para asegurar la calidad de los resultados de los ensayos.	
	2 Generar un manual de calidad	1 Generar un manual de calidad
	3 Auditar la mejora continua	2 Auditar la mejora continua
	4 Auditar las políticas y acciones de reclamos	
Coordinador de Mantenimiento y Calibración	1 Ejecutar la secuencia de la calibración e incertidumbre de equipos para generar trazabilidad metrológica	Ejerce la Jefatura de Mantenimiento, ejecuta los planes propuestos y secuencia de la calibración de equipos: 1 Establece planes y prioridades Prevé los materiales, repuestos y equipos necesarios para mantenimiento. Genera informes e historial de operaciones de mantenimiento
Coordinador de Servicios	1 Dirigir, controlar y actualizar los documentos en áreas técnicas, de procedimientos, instructivos y registros que generen trazabilidad de todas las operaciones	Coordinar y supervisar operaciones preventivas de mantenimiento
	2 Coordinar las operaciones con los laboratoristas	1
Laboratoristas	1 Ejecutar operaciones técnicas relacionadas a los ensayos autorizados y certificados	1 Ejecutar operaciones preventivas de mantenimiento y documenta los pasos
	2 Generar la documentación de resultados	

#### IV. CONCLUSIONES

La aplicación de encuestas y su análisis de funcionamiento, percepción del estado y formas de trabajo permite generar bases adecuadas para la aplicación del modelo RCM.

El análisis de modo de fallas y efectos (AMEF) practicado al EUT/C permite señalar los puntos más críticos, las consecuencias en el funcionamiento y los efectos sobre los objetivos del laboratorio.

Se propone un cronograma anual de mantenimiento (Fig. 7) en función del análisis realizado en este estudio. Este plan está basado en tres niveles según la complejidad, donde el personal de laboratorio podrá ejecutar al inicio del programa RCM el nivel uno y parcialmente el nivel dos.

El plan (Tabla V) muestra que inicialmente será necesario invertir 122 horas anuales en mantenimiento. La mayor cantidad de tiempo en operaciones son del nivel uno que básicamente se tratan de inspecciones (84 horas) esto es el 69% del tiempo total.

El sistema de sujeción es el de mayor tiempo de mantenimiento, 39.5 horas (32.4% del total) los cuales son mayormente inspecciones (38.8 horas) esto se debe a que este sistema es el más sensible de provocar errores o fallas en las respuestas después de la calibración de las celdas de carga.

Si los tiempos de mantenimiento preventivo programados son las 112 horas estimadas y las horas de trabajo predictivo con correcciones se estiman en 10 horas, la disponibilidad genérica alcanzaría el 99.5%.

Aplicar el modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite generar procesos y documentos necesarios para homologar la aplicación de la norma ISO/IEC 17025. La Tabla VI resume el detalle de las operaciones y documentación aplicada que se relaciona con la norma de calidad de laboratorios.

#### REFERENCIAS

- [1] Waugh, C. Clark, G. (2021) Factors affecting test reproducibility among laboratories. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*. DOI 10.20506/rst.40.1.3213 ISSN: 02531933
- [2] Mkalaf, K. Gibson, P. Flanagan, J. (2015). A Study of Current Maintenance Strategies and the Reliability of Critical Medical Equipment in Hospitals in Relation to Patient Outcomes. *International Conference of the Management Engineering*. <https://ro.uow.edu.au/theses>.
- [3] ISO/IEC, I. S. O. (2005). ISO/IEC 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. In *International Standard* (Vol. 2005). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2015.7106438>
- [4] SAE-JA 1011. (n.d.). SAE-JA1011 (2020): Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes - SAE International. Retrieved March 11, 2020, from [https://www.sae.org/standards/content/ja1011\\_200908/](https://www.sae.org/standards/content/ja1011_200908/).
- [5] ROJAS, R. (2010). Plan para la Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para plantas de concreto en proyectos del ICE. 21, 427-441. <http://www.uci.ac.cr/Biblioteca/Tesis/PFGMAP766.pdf>
- [6] J Norma ISOC. (2017). ISO/IEC-17025:2017 Requisitos Generales Para La Competencia De Los Laboratorios De Ensayo Y Calibración. In *Iso* (Issue Lima 27).

- [7] ISO. (2004). ISO 14224:2016 Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchanges of reliability and maintenance data for equipment. <https://www.iso.org/standard/64076.html>
- [8] Campos, O. Tolentino, G. Toledo-Velázquez, M. Tolentino, R. (2019) Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, vol. 23, núm. 1, pp. 51-59, enero-junio 2019. ISSN 1665-0654 [impresa]. ISSN 2594-2921. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html>
- [9] SAE. (n.d.). *JA1012A: 2011 A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (Rcm) Standard - SAE International*. Retrieved March 16, 2020, from [https://www.sae.org/standards/content/ja1012\\_201108/](https://www.sae.org/standards/content/ja1012_201108/)
- [10] Moubray, J. (2012). *Moubray's Reliability Centered Maintenance 3Ed*. Industrial Press, Incorporated. <https://books.google.com.pe/books?id=WuafpwAACAAJB>