

# MANUAL DE LABORATORIO DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



**Noveno Semestre 2026**

## PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

DÍA	HORARIO	ACTIVIDAD
Lunes	08:00-12:00 y 13:00-17:00	<b>Práctica 1:</b> Gestión del mantenimiento correctivo
Martes	08:00-12:00 y 13:00-17:00	<b>Práctica 2:</b> Gestión del mantenimiento preventivo
Miércoles	08:00-12:00 y 13:00-17:00	<b>Práctica 3:</b> Mantenimiento predictivo para motores instalaciones eléctricas
Jueves	08:00-12:00 y 13:00-17:00	<b>Práctica 4:</b> Software para gestión del mantenimiento

## MATERIAL NECESARIO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

Cada estudiante deberá traer los siguientes materiales según corresponda en la práctica:

No.	Material
1. Lunes	Hojas en blanco Lapiceros Calculadora <b>Computadora</b>
2. Martes	Hojas en blanco Lapiceros <b>Computadora</b>
3. Miércoles	Hojas en blanco Lapiceros Calculadora <b>Computadora</b>
4. Jueves	Hojas en blanco Lapiceros <b>Computadora</b> <b>Acceso a internet</b> <b>Crear un usuario en Fracttal One</b>

## INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA PRÁCTICA

Para la realización adecuada de las prácticas deberán atenderse las siguientes indicaciones:

1. Presentarse puntualmente a la hora del inicio del laboratorio y permanecer durante la duración de este.
2. Realizar las actividades y hojas de trabajo planteadas durante la práctica.
3. Participación y cuidado de cada uno de los integrantes del grupo en todo momento de la práctica.
4. Conocer la teoría, (leer el manual antes de presentarse a cada práctica).
5. **No se permite el uso de teléfono celular dentro del laboratorio**, Si tiene llamadas laborales deberá atender las mismas únicamente en el horario de receso.
6. Si sale del salón de clases sin la autorización del docente perderá el valor de la práctica.
7. No puede atender visitas durante la realización de la práctica.
8. El horario de receso es únicamente de 15 minutos.

## 9. Respeto dentro del laboratorio hacia los catedráticos o compañeros (as).

**La falta a cualquiera de los incisos anteriores será motivo de una inasistencia.**

Considere que se prohíbe terminantemente comer, beber y fumar. Éstos también serán motivos para ser retirado de la práctica.

Recuerde que para tener derecho al punteo y aprobar el curso deberá presentarse a las prácticas y realizar las evaluaciones en línea, las cuales estarán habilitadas del **25 de mayo 2026 a las 8:00 al 29 de mayo 2026 a las 18:00.**

### INFORME DE PRÁCTICA

Las secciones de las cuales consta un informe, el punteo de cada una y el orden en el cual deben aparecer son las siguientes:

- a) Resultados
- b) Resumen de la práctica
- c) Conclusiones

Si se encuentran dos informes parcial o totalmente parecidos se anularán automáticamente dichos reportes.

- a. **RESULTADOS:** Es la sección en la que se presentan de manera clara y objetiva los datos obtenidos a partir de la práctica realizada.
- b. **RESUMEN DE LA PRÁCTICA:** Esta sección corresponde al contenido del informe, aquello que se ha encargado realizar según las condiciones del laboratorio.
- c. **CONCLUSIONES:** Constituyen la parte más importante del informe. Son las decisiones tomadas, respuestas a interrogantes o soluciones propuestas a las actividades planteadas durante la práctica.

### DETALLES FÍSICOS DEL INFORME

- El informe debe presentarse en hojas de papel bond **tamaño carta**.
- Cada sección descrita anteriormente, debe estar debidamente identificada y en el orden establecido.
- Todas las partes del informe deben estar escritas a mano CON LETRA CLARA Y LEGIBLE, a menos que se indique lo contrario.
- Se deben utilizar ambos lados de la hoja.
- No debe traer folder ni gancho, simplemente engrapado.

### IMPORTANTE:

Los informes se entregarán al día siguiente de la realización de la práctica al entrar al laboratorio SIN EXCEPCIONES. Todos los implementos que se utilizarán en la práctica se tengan listos antes de entrar al laboratorio pues el tiempo es muy limitado. Todos los trabajos y reportes se deben de entregar en la semana de laboratorio no se aceptará que se entregue una semana después.

## PRÁCTICA NO. 1

### GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO

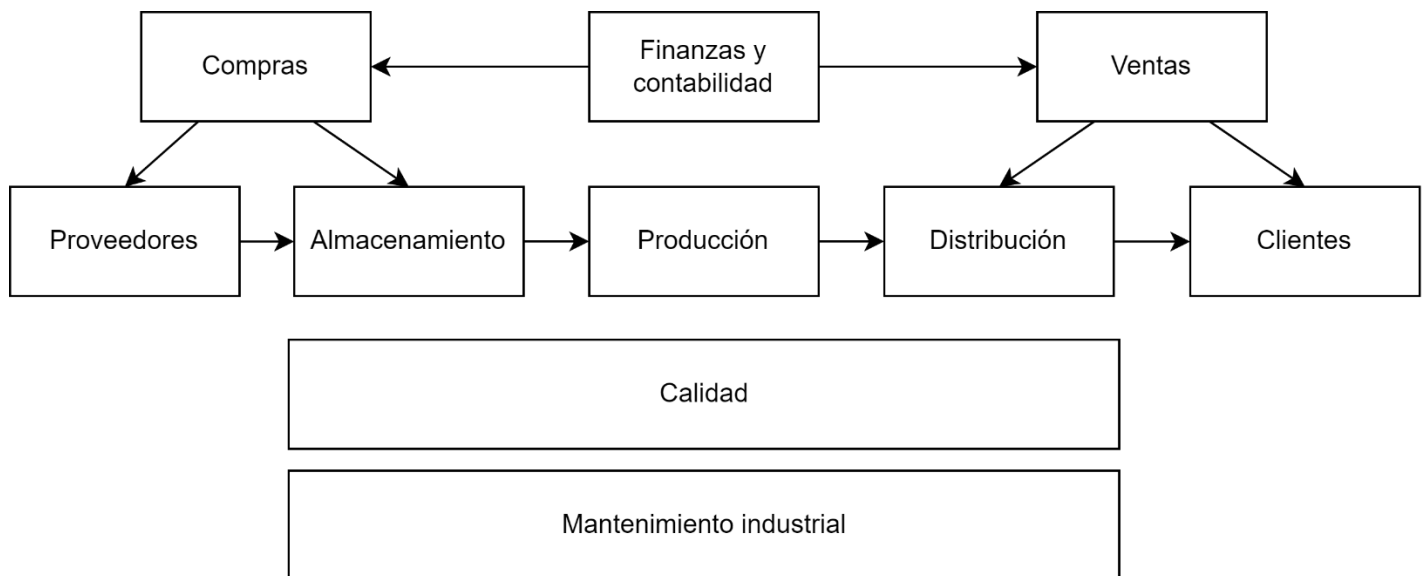
#### 1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Comprender la importancia del mantenimiento industrial en el campo de la ingeniería.
- 1.2. Identificar las características más importantes del mantenimiento correctivo.
- 1.3. Conocer los indicadores clave de mantenimiento para el mantenimiento correctivo.

#### 2. Marco Teórico:

**Mantenimiento industrial:** es un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones. Es una especie de servicio alternativo, cuya gestión corre paralela a la cadena de valor de la empresa; consecuentemente, ambos sistemas deben ser objetos de similar atención, la esencia empírica demuestra, no obstante, que la mayor atención se centra en la actividad productiva o de servicio propiamente dicha.

En el siguiente diagrama se observa cómo se conectan las distintas actividades de una empresa de producción común. Desde el flujo de materias primas de los proveedores hasta el flujo de productos terminados a los clientes es lo que compone la cadena de valor de la empresa, el mantenimiento será una actividad de apoyo que debe asegurar que estas actividades críticas se lleven a cabo sin contratiempos.



Si el área de mantenimiento industrial realiza sus actividades con eficiencia, habrá menos dificultades en el desarrollo de las actividades de la cadena de valor, esto le permitirá a la empresa operar de manera más confiable y eficiente, por tanto, será más competitiva. La reconversión de la actividad de mantenimiento debe verse, en primera instancia, como la adopción de un sistema que se adapte a las necesidades de cada empresa y particularmente a las características y el estado técnico del equipamiento instalado en ellas.

**Objetivos del mantenimiento industrial:** el diseño e implementación del sistema de mantenimiento industrial debe tener en consideración las metas y objetivos del área al que está prestando servicio, en el caso del área

productiva, este objetivo será cumplir con un programa de producción, para el área de distribución, será entregar las órdenes o pedidos de los clientes a tiempo y así con cada uno. Cualquier modificación del sistema de mantenimiento industrial debe ser contemplada con gran prudencia para evitar, precisamente, que se enmascaren dichos objetivos o se dificulte su consecución.

Por tanto, los objetivos del área de mantenimiento industrial son:

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes precitados.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o paro de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Balancear el costo de mantenimiento con el correspondiente costo de oportunidad.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes

**Tipos de mantenimiento:** según la naturaleza del mantenimiento, este puede clasificarse en:

- **Mantenimiento correctivo:** es aquel que se ocupa de la reparación, una vez se ha producido el fallo y el paro súbito de la máquina o instalación. Dentro de este tipo de mantenimiento podríamos contemplar dos tipos de enfoques:
  1. **Mantenimiento de campo (de arreglo):** este se encarga de la reposición del funcionamiento, aunque no quede eliminada la fuente que provocó la falla.
  2. **Mantenimiento curativo (de reparación):** este se encarga de la reparación propiamente, pero eliminando las causas que han producido la falla. Se suele mantener un almacén con piezas de repuesto, sin embargo, dependiendo de la gestión de este inventario, es posible no contar con los elementos necesarios para llevar a cabo el mantenimiento, por lo tanto, es caro y con riesgo de falla. Esto evidencia la necesidad de realizar una adecuada gestión del mantenimiento.

**Mantenimiento preventivo:** tareas de mantenimiento que tienen como objetivo la reducción riesgos. Gracias a estas tareas se previenen fallos, errores o averías en el funcionamiento de los equipos y de las herramientas, según dicte el plan de mantenimiento para cada caso.

- **Mantenimiento predictivo:** es el mantenimiento que se le da a una máquina o equipo que muestra anomalías en su funcionamiento, anticipando la falla de este. La recopilación y la interpretación de datos estadísticos permite a muchas empresas aplicar una estrategia de mantenimiento predictivo en sus instalaciones y equipos. Si el departamento de mantenimiento industrial detecta valores anómalos, procede a realizar una revisión o el reemplazo de algún componente antes de que se produzca una avería. Indicadores clave de mantenimiento:

**Gestión del mantenimiento correctivo:**

Realizando una estimación, podríamos considerar que, en promedio, más del 70% del tiempo total dedicado a mantenimiento se utiliza para solución de fallas no programadas. Gestionar con eficacia el mantenimiento correctivo significa:

- Realizar intervenciones con rapidez, que permitan la puesta en marcha del equipo en el menor tiempo posible (MTTR).
- Realizar intervenciones fiables, y adoptar medidas para que no se vuelvan a producir estas en un periodo de tiempo suficientemente largo (MTBF).
- Consumir la menor cantidad posible de recursos (tanto mano de obra como materiales).

#### **Distribución del tiempo de una avería o falla en el mantenimiento correctivo:**

El tiempo necesario para la puesta a punto de un equipo tras una avería se distribuye de la siguiente manera:

1. **Tiempo de detección:** es el tiempo que transcurre entre el origen del problema y su detección. Hay una relación entre el tiempo de detección y el tiempo de resolución total: cuanto antes se detecte la avería, en general, habrá causado menos daño y será más fácil y económica su reparación.
2. **Tiempo de comunicación:** es el tiempo que transcurre entre la detección del problema y localización del equipo de mantenimiento. Este periodo se ve muy afectado por los sistemas de información y de comunicación con el personal de mantenimiento y con sus responsables. Una buena organización de mantenimiento hará que este tiempo sea muy corto, incluso despreciable en el total de tiempo transcurrido.
3. **Tiempo de espera:** es el tiempo que transcurre desde la comunicación de la avería hasta el inici de la reparación. Incluye el tiempo de espera hasta disponer de operarios que puedan atender la incidencia, los trámites burocráticos necesarios para poder intervenir (parada de los equipos, solicitud de órdenes de trabajo, obtención de la orden de trabajo, aislamiento del equipo, etc.) y el traslado del personal desde donde se encuentre hasta el lugar donde se ha producido el incidente. Este tiempo se ve afectado por varios factores: número de operarios de mantenimiento de que se disponga, complicación o simplicidad del sistema de gestión de órdenes de trabajo, medidas de seguridad que sea necesario adoptar, y distancia del taller de mantenimiento a la planta, entre otras.
4. **Diagnóstico de la avería:** es el tiempo necesario para que el operario de mantenimiento determine qué está ocurriendo en el equipo y cómo solucionarlo. Este tiempo se ve afectado por varios factores: formación y experiencia del personal, y por la calidad de la documentación técnica disponible (planos, históricos de averías, listas de averías y soluciones, etc.).
5. **Acopio de herramientas y medios técnicos necesarios:** una vez determinado qué hay que hacer, el personal encargado de la reparación puede necesitar un tiempo para situar en el lugar de intervención los medios que necesite. Este tiempo suele verse afectado por la distancia de los talleres o lugares de almacenamiento de la herramienta al lugar de intervención, por la previsión de los operarios a la hora de llevar consigo el herramental que creen pueda necesitar cuando se les comunica la necesidad de intervención y por la cantidad de medios disponibles en planta.

6. **Acopio de repuestos y materiales:** es el tiempo que transcurre hasta la llegada del material que se necesita para realizar la intervención. Incluye el tiempo necesario para localizar el repuesto en el almacén (en el caso de tenerlo en stock), realizar los pedidos pertinentes (en caso de no tenerlo), para que el proveedor los sitúe en la planta, para acondicionarlos (en caso de que haya que realizar algún trabajo previo), para verificar que alcanzan sus especificaciones y para situarlos en el lugar de utilización. Este tiempo se ve afectado por la cantidad de material que haya en stock, por la organización del almacén, por la agilidad del departamento de compras, y por la calidad de los proveedores.
7. **Reparación de la avería:** es el tiempo necesario para solucionar el problema surgido, de manera que el equipo quede en disposición para producir. Se ve muy afectado por el alcance del problema y por los conocimientos y habilidad del personal encargado de su resolución.
8. **Pruebas funcionales:** es el tiempo necesario para comprobar que el equipo ha quedado adecuadamente reparado. El tiempo empleado en realizar pruebas funcionales suele ser una buena inversión: si un equipo no entra en servicio hasta que no se ha comprobado que alcanza todas sus especificaciones, el número de órdenes de trabajo disminuye, y con él, todos los tiempos detallados en los puntos 1 al 6. Depende fundamentalmente de las pruebas que se determine que deben realizarse.
9. **Puesta en servicio:** es el tiempo que transcurre entre la solución completa de la avería y la puesta en servicio del equipo. Está afectado por la rapidez y agilidad de las comunicaciones.
10. **Redacción de informes:** el sistema documental de mantenimiento debe recoger al menos los incidentes más importantes de la planta, con un análisis en el que se detallen los síntomas, la causa, la solución y las medidas preventivas adoptadas.

Es fácil entender que, en el tiempo total hasta la resolución del incidente o avería, el tiempo de reparación puede ser muy pequeño en comparación con el tiempo total. También es fácil entender que la gestión de mantenimiento influye decisivamente en este tiempo: al menos 7 de los 10 tiempos anteriores se ven afectados por la organización del departamento.

#### **Análisis de modo de fallo:**

Se observa cómo en el tiempo necesario para la resolución de una avería hay un tiempo que se consume en diagnosticar la avería, en identificar el problema y proponer una solución. En averías evidentes, este tiempo pasa desapercibido, es despreciable frente al tiempo total. Pero en muchas ocasiones el tiempo necesario para saber qué ocurre puede ser significativo:

- En caso de instalaciones nuevas, poco conocidas.
- En caso de emplear personal distinto del habitual.
- En caso de averías poco evidentes (caso, por ejemplo, de averías que tienen que ver con la instrumentación).

El personal, con el paso del tiempo, va aprendiendo de su propia experiencia, siendo una realidad que el diagnóstico de una avería suele hacerlo más rápidamente el personal que más tiempo lleva en la planta. Si la experiencia acumulada por el personal de mantenimiento se almacena en sus cabezas, nos exponemos a algunos peligros:

- Rotación del personal. El personal cambia de empresas, de puestos, etc., y con él, puede marcharse la experiencia acumulada en la resolución de averías.
- Periodos de vacaciones y bajas. Si la experiencia se almacena exclusivamente en las mentes del personal, ante una baja, un descanso o unas vacaciones podemos quedarnos sin esa experiencia necesaria.
- Olvidos. La mente es un soporte frágil, y un operario puede no acordarse con exactitud de cómo resolvió un problema determinado.
- Incorporación de personal: el personal de nueva incorporación deberá formarse al lado de los operarios que más tiempo llevan en la planta. Esta práctica tan extendida no es a menudo la más recomendable. Un buen operario no tiene por qué ser un buen profesor. Si, por otro lado, debemos esperar a que a un operario le ocurran todas las averías posibles para tenerlo perfectamente operativo, transcurrirán años hasta llegar al máximo de su rendimiento.

Por todo ello, es conveniente recopilar la experiencia acumulada en las intervenciones correctivas en documentos que permitan su consulta si el mismo problema vuelve a surgir. Uno de estos documentos es el análisis de modo de fallo.

Este consiste en una tabla donde se consolida la información respecto a las averías o fallas que se han dado en los equipos y las que podrían darse. Se indica el equipo, el elemento del equipo que falla, la manera en que lo hace, cual es la consecuencia del fallo, con esto se logra describir cualitativamente la falla. Luego, se califica en la severidad (basado en los costos), probabilidad (basada en la frecuencia) y dificultad de la detección de la falla (basado en el tiempo necesario para detectar la falla), esto se utiliza para determinar la importancia de controlar la falla en futuros análisis. Por último, se coloca la solución más efectiva que se tiene hasta el momento.

<b>Análisis de modo de fallo</b>								
<b>Equipo</b>	<b>Elemento</b>	<b>Modo de fallo</b>	<b>Efecto</b>	<b>Severidad (1-10)</b>	<b>Probabilidad (1-10)</b>	<b>Dificultad de detección (1-10)</b>	<b>Índice de falla SxPx D</b>	<b>Solución</b>
Máquina transportadora	Faja	Rotura	Falla funcional	8	5	4	160	Cambio con un repuesto
Máquina transportadora	Cojinete	Desgaste	Falla funcional	8	3	9	216	Cambio con un repuesto
Máquina transportadora	Pintura	Desgaste	Estético	1	7	1	7	Pintar el equipo

El ejemplo anterior se encuentra considerablemente resumido debido a las limitaciones de espacio, en una situación real se debe tener disponibles la mayor cantidad de detalles que ayuden a agilizar el mantenimiento correctivo. El índice de falla se utiliza para determinar el nivel de atención que se le debe dar a la falla y si es necesario pasar a implementar un mantenimiento preventivo o predictivo. Con la información anterior, se pueden crear procedimientos estándar para las fallas o averías más comunes.

**Indicadores clave del mantenimiento:**



Para darle seguimiento a los mantenimientos correctivos, se utilizan los siguientes indicadores clave:

- **Tiempo promedio entre fallas (MTBF):** representa el tiempo medio que transcurre entre dos fallas o averías de un equipo determinado. Por lo tanto, representa la fiabilidad de la operación del equipo – cuanto más alto sea su MTBF, más fiable es. Así pues, el MTBF puede determinarse calculando la diferencia entre el tiempo total de trabajo del activo (que es el número de horas que habría funcionado si no se hubiera averiado) y su tiempo de avería, dividido por el número de fallos por los que ha pasado.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de trabajo} - \text{Tiempo total de parada}}{\text{Número de fallos}}$$

- **Tiempo promedio para reparar (MTTR):** representa el tiempo medio necesario para reparar las averías del equipo hasta que este vuelva a un estado plenamente funcional. Por lo tanto, es un buen indicador de cómo está siendo el desempeño del equipo de mantenimiento. Esta métrica se calcula dividiendo el tiempo total de mantenimiento correctivo durante un determinado período de tiempo por el número de intervenciones de mantenimiento realizadas.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número de intervenciones}}$$

- **Porcentaje de disponibilidad operativa:** es el porcentaje del tiempo durante el cual el equipo se encuentra en funcionamiento. Se determina de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje de disponibilidad} = 100 * \frac{\text{Tiempo total de trabajo} - \text{Tiempo total de parada}}{\text{Tiempo total de trabajo}}$$

En el caso del porcentaje de disponibilidad operativa, esta es útil para evaluar el desempeño en agregado del sistema de gestión del mantenimiento al observarlo mensualmente.

DISPONIBILIDAD DE EQUIPAMIENTOS														
Sector: PROCESO 1										Periodo: 01/01/99 a 31/12/99				
EQUIPO	Prom. Ant	Ene. 99	Feb. 99	Mar. 99	Abr. 99	May. 99	Jun. 99	Jul. 99	Ago. 99	Sep. 99	Oct. 99	Nov. 99	Dic. 99	Prom. Actual
DISYUNTOR GENERAL	97	100	100	92	100	83	100	100	100	100	100	100	81	96
DISYUNTOR A.C. SACE	91	100	88	100	100	100	79	100	100	100	100	100	100	97
TRAFO ASEA 1500 KVA	93	100	100	100	100	100	100	100	81	100	100	100	100	98
ESTABILIZADOR TECTROL	92	100	100	65	100	100	100	100	100	100	100	71	100	95
GRUPO ELETROGENO 1	97	100	100	41	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95
GRUPO ELETROGENO 2	94	100	100	100	38	100	100	100	100	100	100	100	100	95
TRAFO ITEL 750 KVA	89	100	52	100	100	100	100	100	84	100	100	100	100	95
AFTER COOLER 1	91	33	100	100	100	49	100	100	100	88	100	100	100	89
AFTER COOLER 2	90	62	100	83	100	100	91	100	78	56	100	100	67	91
COMPRESOR DE AIRE 1	91	92	100	100	84	89	100	94	91	81	100	100	53	90
COMPRESOR DE AIRE 2	90	62	100	83	100	100	80	100	100	100	37	100	100	89
DESTILADOR 1	84	100	100	84	100	100	100	100	49	100	100	21	100	88
DESTILADOR 2	94	100	71	100	100	38	100	82	100	100	100	85	100	96
DESTILADOR 3	82	100	100	100	75	100	100	100	100	48	100	100	100	94

Cada índice se debe calcular por equipo, adicional puede calcularse un indicador mensual.

### HOJA DE TRABAJO No. 1

1. Considere el caso de una empresa que se dedica a la distribución de productos varios no perecederos. La empresa cuenta con 2 montacargas pequeños en el almacén, 5 camiones pequeños para distribución y 1 embaladora. Construya un cuadro de análisis del modo de fallos identificando por lo menos 4 fallas por equipo que pueden ocurrir en cada tipo de máquina o vehículo. Investigue o asuma toda la información necesaria.

		
Camión pequeño para distribución	Montacargas pequeño	Embaladora

2. La empresa ha recolectado información respecto a las averías de la maquinaria durante los últimos dos meses (considere el mes actual como completo), calcule los indicadores clave de mantenimiento correctivo y determine si debe mejorar la parte administrativa o técnica en la gestión del mantenimiento de cada equipo. Considere una jornada laboral diurna de 8 horas en lunes a viernes y 4 horas los sábados.

Equipo	Mes	Falla	Tiempo de paro	Tiempo de mantenimiento
Camión 5	Pasado	Sobrecalentamiento	4 h	1 h
Camión 5	Pasado	Problemas con la batería	3 h 30 min	2 h

Camión 2	Pasado	Llanta pinchada	1 h 10 min	30 min
Camión 3	Pasado	Llanta pinchada	1 h	25 min
Montacargas 1	Pasado	Mástil atascado	6 h 10 min	3 h 15 min
Montacargas 1	Pasado	Mástil atascado	4 h 45 min	3 h 25 min
Montacargas 1	Actual	Mástil atascado	5 h 10 min	2 h 30 min
Montacargas 1	Actual	Sobrecalentamiento	1 h 25 min	30 min
Camión 2	Actual	Problemas con la batería	2 h	1 h 30 min
Camión 1	Actual	Llanta pinchada	45 min	25 min
Camión 5	Actual	Sobrecalentamiento	4 h 30 min	45 min
Camión 2	Actual	Problemas con la batería	2 h 30 min	1 h

## CASO 2

1. Considere el caso de una empresa que se dedica al lavado de vehículos. La empresa cuenta con 6 hidrolavadoras y 6 aspiradoras. Construya un cuadro de análisis del modo de fallos identificando por lo menos 5 fallas por equipo que pueden ocurrir en cada tipo de equipo. Investigue o asuma toda la información necesaria.



2. La empresa ha recolectado información respecto a las averías de los equipos durante los últimos dos meses (considere el mes actual como completo), calcule los indicadores clave de mantenimiento correctivo y determine si debe mejorar la parte administrativa o técnica en la gestión del mantenimiento de cada equipo. Considere una jornada nocturna de 6 horas en lunes a viernes y 6 horas los sábados.

Equipo	Mes	Falla	Tiempo de paro	Tiempo de mantenimiento
Aspiradora 3	Pasado	Cortocircuito	45 min	25 min
Aspiradora 6	Pasado	Filtro dañado	1 h 30 min	45 min
Aspiradora 4	Pasado	Filtro dañado	1 h 30 min	30 min
Hidrolavadora 2	Pasado	Presión baja en el agua	2 h 10 min	1 h 30 min
Hidrolavadora 1	Pasado	Cortocircuito	1 h 25 min	50 min

Aspiradora 3	Pasado	Sobrecalentamiento	2 h	1 h 30 min
Hidrolavadora 2	Actual	Presión baja en el agua	1 h	25 min
Aspiradora 1	Actual	Sobrecalentamiento	1 h 10 min	25 min
Aspiradora 3	Actual	Mangueras obstruidas	4 h 45 min	25 min
Hidrolavadora 2	Actual	Presión baja en el agua	1 h 15 min	1 h
Hidrolavadora 3	Actual	Mangueras obstruidas	3 h 30 min	2 h
Hidrolavadora 2	Actual	Presión baja en el agua	1 h 10 min	30 min

## PRÁCTICA NO. 2

### GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

#### 1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Conocer la metodología para gestionar el mantenimiento preventivo.
- 1.2. Identificar la estructura para generar órdenes de trabajo.
- 1.3. Desarrollar planes de mantenimiento preventivo.

#### 2. Marco teórico:

**Mantenimiento preventivo:** es un procedimiento programado que previene la ocurrencia de fallas. Sus principales actividades se centran en la limpieza, la lubricación, el recambio programado de piezas y los ajustes en el equipo; estas actividades se realizan de manera periódica, se controlan con base en el tiempo y se establecen mediante inspecciones, medidas y el control de las condiciones de los equipos.

Para aplicar el mantenimiento preventivo se debe determinar con anticipación un plan en el que se indiquen las actividades que deben realizarse, así como su frecuencia. Esta planificación debe ser llevada a cabo por el responsable de mantenimiento y el personal técnico a su cargo, y refleja las tareas periódicas que habrán de realizarse para reducir o eliminar las averías imprevistas que el equipo o maquinaria pueda presentar. Este plan de mantenimiento preventivo se realiza de manera individual para cada una de las máquinas o equipos.

Para determinar las actividades preventivas que son necesarias para incluir en la planificación del mantenimiento preventivo se pueden tomar en consideración las siguientes fuentes:

**Recomendaciones del fabricante:** los manuales de equipo proporcionados por el fabricante ofrecen recomendaciones en relación con el mantenimiento del equipo, así como información sobre algunas fallas comunes y la manera de corregirlas.

**Recomendaciones de los operadores:** la experiencia personal del personal que opera los equipos resulta ser de gran utilidad debido a que conocen cómo se comporta el equipo en condiciones normales de operación. Ellos pueden detectar ruidos, vibraciones o incrementos de temperatura en los equipos, por lo que sus recomendaciones serán muy útiles ante la posibilidad de que se produzca una falla en dichos equipos.

**Experiencia propia:** es muy útil aprovechar la experiencia que se tiene con la operación de la maquinaria o de equipos similares, así como los conocimientos de cada integrante del equipo de mantenimiento que pueda contribuir a intervenciones de calidad, pues se conocen las características y posibles fallas del equipo.

**Análisis de ingeniería:** cuando no se cuenta con información o esta es insuficiente, se debe hacer un estudio detallado de:

- El equipo. Sus características de construcción y operación.
- Las condiciones en que operará el equipo, de lo cual se deducen los puntos que deben inspeccionarse y que deben recibir servicio periódicamente.
- Establecer la vida útil del equipo o maquinaria.

En general, las actividades del mantenimiento preventivo se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- **Limpieza:** proceso periódico que consiste en mantener los recursos libres de impurezas que imposibiliten su buen funcionamiento.
- **Inspección y revisión:** se basan en la observación de los recursos para obtener información sobre su estado físico o funcionamiento.
- **Ajuste o calibración:** corrección de las afectaciones sufridas por el recurso, o de alguna de sus partes, ocasionadas por el uso.
- **Cambio de piezas:** reemplazo de componentes que hayan cumplido su período de vida útil por otros de las mismas características y en buenas condiciones de funcionamiento.
- **Lubricación:** aplicación de lubricantes en intervalos normales y según las indicaciones del fabricante.

Pasos para planificar un trabajo de mantenimiento preventivo:

1. Desarrollar un procedimiento de trabajo
2. Asignar los trabajadores con las destrezas adecuadas.
3. Planear y solicitar las partes y los materiales.
4. Revisar procedimientos de seguridad industrial.
5. Establecer prioridades.
6. Determinar los costos del mantenimiento.
7. Completar la orden de trabajo.

Ejemplo de una orden de trabajo sencilla de mantenimiento:

Orden de trabajo		
Prioridad:	Fecha:	No. de orden:
Requerido por:	Aprobado por:	

Equipo:		Tipo de mantenimiento:	
Descripción del problema:			
Técnico:	Procedimiento:	Fecha:	
Descripción del mantenimiento:			
Material y herramientas necesarias:			
Coordinado por:		Departamento:	
Duración de la inactividad:		Fecha del regreso a operaciones:	
Duración del mantenimiento:		Fecha del mantenimiento:	
Responsable de la verificación:			
Verificación:		Fecha de verificación:	
Observaciones:			

Cabe resaltar que la información requerida en la orden de trabajo será diferente dependiendo del tipo de empresa y si está sujeta a algún sistema de gestión de calidad que obligue a documentar información adicional. La orden de trabajo anterior puede tomarse de base para los mantenimientos tanto correctivos como preventivos.

Ejemplo de una hoja de planificación de mantenimiento preventivo:

Planificación de mantenimiento preventivo							
Elaborado por: Marco Gómez		Aprobado por: Julio Ortíz			Fecha de elaboración: 24/10/22		
Equipo: Horno industrial		Código: CO-001-X01			Fecha de aprobación: 26/10/22		
Ubicación: CO-002		Área: Cocina			Supervisor de área: Ana Pinto		
No.	Parte	Categoría	Procedimiento	Prioridad	Duración	Frecuencia	Interrumpe actividades
1	Válvula de gas	Inspección	MP-001-52	Programado	20 min	Semanal	Sí
2	Cubierta	Limpieza	MP-001-25	Aplazable	5 min	Semanal	Sí
3	Termómetro	Calibración	MP-001-63	Programado	1 h	Mensual	Sí

La tabla anterior se encuentra considerablemente resumida por cuestiones de espacio, se deben incluir tantos detalles como sean necesarios. Los mantenimientos preventivos pueden planificarse con antelación, para el mantenimiento correctivo deberán utilizarse los indicadores de mantenimiento para estimar el período en cuál deberán llevarse a cabo y preparar al sistema para ello.

**Programación del mantenimiento industrial:** es el proceso de asignar un espacio de tiempo a cada una de las actividades de mantenimiento que ya han sido planificadas. Para poder realizar una programación del mantenimiento existen algunos elementos que se deben tener en consideración:

1. **Programa maestro de producción:** se debe tener una estrecha coordinación con la función de operaciones, el propósito principal de la programación es evitar interrupciones en el proceso productivo.
2. **Historial del mantenimiento correctivo:** considerar los indicadores del mantenimiento correctivo para generar un listado de mantenimiento predictivo, es decir, según el comportamiento de los equipos, cuándo deberán necesitar una intervención.
3. **Listado del mantenimiento preventivo:** según el análisis de ingeniería y las recomendaciones, determinar las actividades de mantenimiento necesarias de cada equipo.
4. **Sistema de prioridades:** se debe clasificar cada tipo de mantenimiento según una lista de prioridades para designarles un espacio en la programación, se puede utilizar criterios de prioridad como: primero en entrar, primero en salir; tiempo de procesamiento más corto; próxima fecha de entrega; razón crítica o un sistema arbitrario como el que se muestra a continuación.

Prioridad		Marco de tiempo en que debe comenzar el trabajo	Tipo de trabajo
Código	Nombre		
1	Emergencia	El trabajo debe comenzar inmediatamente	Trabajo que tiene un efecto inmediato en la seguridad, en el ambiente, la calidad o que parará la producción. Mantenimiento correctivo.
2	Urgente	El trabajo debe comenzar dentro de las próximas 24 horas	Trabajo que probablemente tendrá un impacto en la seguridad, en el ambiente, la calidad o que parará la producción. Mantenimiento correctivo.
3	Normal	El trabajo debe comenzar en las próximas 48 horas	Trabajo que probablemente tendrá un impacto en la producción dentro de una semana. Mantenimiento correctivo.
4	Programado	Según está programado	Mantenimiento preventivo necesario y de rutina, todo el trabajo programado.
5	Aplazable	El trabajo debe comenzar cuando se cuente con los recursos o en el período de paro	Trabajo que no tiene un impacto en la seguridad, en el ambiente, la calidad o que parará la producción. Mantenimiento preventivo.

Una vez planificadas las actividades de mantenimiento y definidas sus prioridades, se realiza la programación por medio de una herramienta de programación de actividades, el principal objetivo de esto es asignar una fecha para cada una de las tareas de mantenimiento planificadas.

Lista de actividades de mantenimiento					
Equipo	Procedimiento	Tipo	Prioridad	Duración	Frecuencia
Camión 1	MP-001-52	Preventivo	Programado	20 min	Semanal
Camión 1	MP-001-75	Preventivo	Programado	30 min	Semanal
Camión 1	MC-001-35	Predictivo	Urgente	50 min	Cada 22 días
Camión 2	MP-001-44	Preventivo	Programado	40 min	Mensual

Camión 2	MC-001-61	Predictivo	Normal	15 min	Cada 11 días
Camión 2	MC-001-57	Predictivo	Urgente	25 min	Cada 17 días

Los mantenimientos predictivos mencionados anteriormente son determinados utilizando los índices de mantenimiento correctivo: el tiempo promedio entre fallas (MTBF) se utiliza como la frecuencia y el tiempo promedio para reparar (MTTR) es la duración de la actividad de mantenimiento. El mantenimiento predictivo se utiliza para tener en consideración dentro de la programación la posibilidad de que exista una falla que requiera mantenimiento correctivo.

### Herramientas para programación de actividades

**Diagrama de Gantt:** Es uno de los más utilizados, debido a su sencillez. Esta herramienta, útil para cualquier tipo de proyectos, se compone de dos ejes, uno vertical y otro horizontal, donde se señala por un lado las actividades y por otro el tiempo. El cronograma de Gantt refleja, a través de diagramas de barra horizontales, la distribución y duración de cada una de las tareas del mantenimiento. Según la prioridad, primero se le asigna un espacio de tiempo a las actividades más urgentes y después a aquellas que no sean de carácter crítico.

Programación mensual del mantenimiento															
Descripción	Enero					Febrero					Marzo				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>Camión 1</b>															
MP-001-52	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
MP-001-75	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
MC-001-35			2				2				2			2	
<b>Camión 2</b>															
MP-001-44	4					4					4				
MC-001-61		3		3		3		3		3		3		3	
MC-001-57			1			1			1			1			1

En el ejemplo anterior, se indica las semanas en las que debe realizarse el mantenimiento y según cada procedimiento se coloca en la casilla el nivel de prioridad que tiene. Nuevamente, por cuestiones de espacio, se han incluido únicamente los primeros tres. Una vez realizado el cuadro anterior, se realiza una programación semanal del mantenimiento según las actividades que correspondan a cada uno de los períodos de tiempo, cada vez especificando más los distintos trabajos a detalle.

Programación semanal del mantenimiento						
Descripción	Semana 1 de enero					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
	Disp: 0.5 h	Disp: 0.5 h	Disp: 0 h	Disp: 0 h	Disp: 0 h	Disp: 2 h
<b>Camión 1</b>						
MP-001-52			-	-	-	20 min
MP-001-75			-	-	-	30 min



MC-001-35	-	-	-	-	-	-
<b>Camión 2</b>						
MP-001-44			-	-	-	40 min
MC-001-61	-	-	-	-	-	-
MC-001-57	-	-	-	-	-	-

En el ejemplo anterior, se tomó el caso de una empresa que, debido a la carga de trabajo, no pueden permitir labores de mantenimiento los miércoles, jueves y viernes. La producción baja considerablemente el sábado y se cuentan con 2 horas para mantenimiento, lunes y martes podrían considerarse como máximo 30 minutos para algún tipo de mantenimiento. La disponibilidad de tiempo para mantenimiento es algo que dependerá enteramente del programa maestro de producción y de las posibles intervenciones estimadas con el mantenimiento predictivo.

Con la programación semanal de mantenimiento, se pueden preparar con antelación recursos necesarios para llevar a cabo las actividades y las respectivas órdenes de trabajo. Las programaciones realizadas de esta manera no son definitivas, el coordinador o supervisor deberá modificarlo activamente según vea necesario.

## HOJA DE TRABAJO 2

1. Para las siguientes actividades de mantenimiento realice lo siguiente, investigue o asuma toda la información necesaria:

- Procedimiento para llevar a cabo el mantenimiento.
- Herramientas necesarias para el mantenimiento.
- Repuestos o insumos necesarios para realizar el mantenimiento, si aplica.
- Competencias o conocimientos específicos que debe tener el técnico de mantenimiento.

Luego, utilizando como base la información anterior, desarrolle las órdenes de trabajo para las dos actividades de mantenimiento preventivo.

Equipo	Actividad de mantenimiento
	Inspección de la presión en un sistema de abastecimiento de vapor. El manómetro se encuentra en un lugar alto, difícil de alcanzar.

Lubricación de los rodamientos de una bomba de agua pequeña.



Equipo



Actividad de mantenimiento

Calibración de un termómetro digital.



Cambio de bombillas en una nave industrial, el techo se encuentra a 6 metros de altura.

Considere nuevamente el caso de una empresa que se dedica a la distribución de productos varios no perecederos. La empresa cuenta con 2 montacargas pequeños en el almacén, 5 camiones pequeños para distribución y 1 embaladora.



Camión pequeño para distribución

La empresa ha recolectado información respecto a las averías de la maquinaria durante los últimos dos meses (considere el mes actual como completo). Considere una jornada laboral diurna de 8 horas en lunes a viernes y 4 horas los sábados.

Equipo	Mes	Falla	Tiempo de paro	Tiempo de mantenimiento
Camión	Pasado	Sobrecalentamiento	4 h	1 h
Camión	Pasado	Problemas con la batería	3 h 30 min	2 h
Camión	Pasado	Llanta pinchada	1 h 10 min	30 min
Camión	Pasado	Llanta pinchada	1 h	25 min
Camión	Actual	Problemas con la batería	2 h	1 h 30 min
Camión	Actual	Llanta pinchada	45 min	25 min
Camión	Actual	Sobrecalentamiento	4 h 30 min	45 min
Camión	Actual	Problemas con la batería	2 h 30 min	1 h

Considerando únicamente los camiones, genere la planificación del mantenimiento correctivo y preventivo considerando al menos 8 actividades de mantenimiento. Una vez con esta información, genere un plan mensual de mantenimiento para todos los camiones del año siguiente. Considere nuevamente el caso de una empresa

que se dedica al lavado de vehículos. La empresa cuenta con 6 hidrolavadoras y 6 aspiradoras. Investigue o asuma toda la información necesaria.



La empresa ha recolectado información respecto a las averías de los equipos durante los últimos dos meses (considere el mes actual como completo), calcule los indicadores clave de mantenimiento correctivo y determine si debe mejorar la parte administrativa o técnica en la gestión del mantenimiento de cada equipo. Considere una jornada nocturna de 6 horas de lunes a viernes y 6 horas los sábados.

Equipo	Mes	Falla	Tiempo de paro	Tiempo de mantenimiento
Aspiradora	Pasado	Cortocircuito	45 min	25 min
Aspiradora	Pasado	Filtro dañado	1 h 30 min	45 min
Aspiradora	Pasado	Filtro dañado	1 h 30 min	30 min
Aspiradora	Pasado	Sobrecalentamiento	2 h	1 h 30 min
Aspiradora	Actual	Sobrecalentamiento	1 h 10 min	25 min
Aspiradora	Actual	Mangueras obstruidas	4 h 45 min	25 min
Aspiradora	Actual	Mangueras obstruidas	3 h	30 min

Considerando únicamente las aspiradoras, genere la planificación del mantenimiento correctivo y preventivo considerando al menos 8 actividades de mantenimiento. Una vez con esta información, genere un plan mensual de mantenimiento para todas las aspiradoras del año siguiente.

### PRÁCTICA No. 3

#### MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A MOTORES E INSTALACIONES ELECTRICAS

##### 1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Aplicar técnicas predictivas (termografía, vibración, aislamiento, armónicos, ruido ultrasónico) para diagnosticar condiciones anómalas en motores y tableros eléctricos.
- 1.2. Resolver ejercicios con datos numéricos, aplicar fórmulas, interpretar desviaciones y proponer acciones.
- 1.3. Que el estudiante desarrolle criterio técnico para anticipar fallas y fortalecer la confiabilidad operativa

##### 1. Marco Teórico:

Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es una estrategia de gestión técnica que permite anticipar fallas mediante el monitoreo continuo de variables físicas, eléctricas, mecánicas o químicas. Su objetivo principal es intervenir justo antes de que ocurra una avería, evitando paros no programados, reduciendo costos operativos y prolongando la vida útil de los equipos.

A diferencia del mantenimiento correctivo, que actúa después de la falla, y del preventivo, que se basa en cronogramas fijos, el mantenimiento predictivo se fundamenta en el análisis de condiciones reales de operación. Esto implica observar tendencias, identificar desviaciones y generar alertas técnicas que permitan tomar decisiones informadas.

La implementación de mantenimiento predictivo requiere tres componentes esenciales:

1. Sensores y dispositivos de medición que capturan datos en tiempo real.
2. Sistemas de registro y análisis que interpretan las variaciones y generan alertas.
3. Protocolos de intervención técnica que definen cuándo y cómo actuar ante una desviación.

Entre sus beneficios destacan:

- Reducción de paros no programados.
- Optimización del uso de repuestos y recursos humanos.
- Mejora de la seguridad operativa.
- Aumento de la confiabilidad técnica.
- Disminución del costo por intervención urgente.
- Fortalecimiento de la trazabilidad documental.

## 2. Aplicación específica en instalaciones eléctricas y motores

El mantenimiento predictivo en instalaciones eléctricas y motores industriales se fundamenta en la observación sistemática de variables críticas que permiten anticipar fallas antes de que se manifiesten como averías. Su aplicación exige conocimiento técnico, protocolos de inspección, herramientas de medición y registros históricos confiables.

En instalaciones eléctricas, las variables más relevantes incluyen:

- Temperatura de componentes: sobrecalentamientos en tableros, interruptores, fusibles y transformadores indican resistencia anómala o sobrecarga.
- Resistencia de aislamiento: valores bajos revelan deterioro dieléctrico en cables, motores y equipos, con riesgo de cortocircuito.
- Calidad de conexión: terminales flojas o corroídas generan puntos calientes y pérdidas de energía.
- Presencia de armónicos: distorsiones en la forma de onda afectan la eficiencia y pueden dañar equipos sensibles.
- Estado de protecciones: interruptores, fusibles y relés deben ser verificados para asegurar su respuesta ante fallas.

En motores eléctricos, se monitorean variables como:

- Vibraciones mecánicas: desalineaciones, desequilibrios o desgaste de rodamientos se detectan mediante análisis espectral.
- Consumo de corriente: variaciones anómalas pueden indicar sobrecarga, cortocircuito interno o falla en el aislamiento.
- Temperatura de rodamientos y carcasa: incrementos sostenidos revelan fricción excesiva o falta de lubricación.
- Ruido operativo: sonidos irregulares pueden anticipar fallas mecánicas o eléctricas.
- Desequilibrio de fases: diferencias de voltaje entre fases afectan el rendimiento y aceleran el desgaste.

Las técnicas predictivas aplicadas incluyen:

- Termografía infrarroja: permite visualizar zonas con aumento de temperatura, útil en tableros, transformadores y motores.
- Análisis de vibraciones: identifica patrones de desgaste en componentes rotativos mediante sensores y software especializado.
- Ultrasonido industrial: detecta fugas eléctricas, descargas parciales y fallas invisibles en sistemas energizados.
- Medición de resistencia de aislamiento: evalúa la integridad dieléctrica de cables y motores con instrumentos tipo megóhmetro.
- Monitoreo de corriente y potencia: analiza el comportamiento eléctrico en tiempo real, detectando sobrecargas y armónicos.
- Análisis de aceite dieléctrico: en transformadores, permite identificar contaminación interna o deterioro químico.

La aplicación efectiva del mantenimiento predictivo requiere:

- Establecer rangos de referencia por equipo y variable.
- Registrar tendencias históricas con periodicidad definida.
- Generar alertas técnicas ante desviaciones significativas.
- Documentar cada inspección con trazabilidad completa.
- Capacitar al personal en interpretación de datos y uso de instrumentos.

Tabla comparativa de enfoques entre mantenimientos

Enfoque	Momento de intervención	Base técnica	Riesgo operativo	Costo	Ejemplo aplicado
Correctivo	Después de la falla	Falla visible	Alto	Alto	Motor quemado
Preventivo	Según cronograma	Tiempo o ciclos	Medio	Medio	Cambio rutinario
Predictivo	Antes de la falla real	Condición monitoreada	Bajo	Bajo	Vibración anómala

### Fundamentos del mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo se basa en el monitoreo continuo de variables físicas, eléctricas y mecánicas que permiten detectar desviaciones antes de que se conviertan en averías.

### Componentes esenciales

Componente	Función técnica
Sensores y dispositivos	Capturan datos en tiempo real (temperatura, vibración)
Sistemas de análisis	Interpretan variaciones y generan alertas
Protocolos de intervención	Definen cuándo y cómo actuar ante desviaciones

### Variables críticas monitoreadas

Variable	Equipo afectado	Técnica de diagnóstico
Temperatura	Tableros, motores	Termografía infrarroja
Vibración	Motores, bombas	Análisis espectral (FFT)
Corriente	UPS, tableros	Analizador de redes eléctricas
Aislamiento	Cables, motores	Megóhmetro digital
Frecuencia	Motores, ventiladores	Acelerómetro + FFT

### Herramientas predictivas

El mantenimiento predictivo requiere instrumentos especializados que permiten medir variables físicas y eléctricas en tiempo real. A continuación, se presentan las herramientas más utilizadas en campo, con su ficha técnica y aplicación.

### 1. Cámara termográfica THT300

La THT300 es una cámara infrarroja utilizada para medir la temperatura superficial de componentes eléctricos y mecánicos. Su rango operativo va desde  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con una precisión de  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se aplica en tableros eléctricos, motores, fusibles y conexiones, permitiendo detectar sobrecalentamientos, puntos calientes y conexiones flojas. El diagnóstico se basa en comparar la temperatura medida con un valor límite técnico. Si la desviación supera el 25 %, se considera condición crítica.



La fórmula utilizada es:

$$\text{Desviación térmica} = \frac{\text{Temp. media} - \text{Temp. límite}}{\text{Temp. límite}} * 100$$

### 2. Analizador de vibraciones ADL MS32

El ADL MS32 es un dispositivo portátil que mide la vibración mecánica en equipos rotativos como motores, bombas y ventiladores. Su rango de medición va de 0.1 a 50 mm/s RMS, con una precisión de  $\pm 0.1\text{ mm/s}$ . Permite detectar desalineación, desequilibrio, rodamientos dañados y holguras mecánicas. El diagnóstico se realiza comparando la amplitud medida con el límite técnico del fabricante. Si la desviación supera el 30 %, se considera condición crítica.



La fórmula utilizada es:

$$\text{Exceso vibratorio \%} = \frac{\text{Vibración media} - \text{Vibración límite}}{\text{Vibración límite}} * 100$$

### 3. Megóhmetro digital AR3125

El AR3125 es un instrumento especializado para medir la resistencia de aislamiento en motores, cables y transformadores. Opera con tensiones de prueba de 250 V, 500 V y 1000 V, y puede medir resistencias desde 0.1 MΩ hasta 2000 MΩ. Detecta deterioro dieléctrico, humedad interna y riesgo de cortocircuito. El valor mínimo aceptable depende del tipo de equipo, pero en motores industriales se espera al menos 1 MΩ por cada 100 V de prueba.



La fórmula utilizada es:

$$ICP = S * P * D$$

Donde S = severidad, P = probabilidad, D = dificultad de detección.



#### 4. Analizador de redes eléctricas (ejemplo: Fluke 1735)

Este instrumento permite medir múltiples variables eléctricas como corriente, voltaje, armónicos y factor de potencia. Se utiliza en tableros, UPS, bancos de carga y sistemas trifásicos. Detecta sobrecargas, desequilibrio de fases, distorsión armónica y bajo factor de potencia. El análisis se realiza comparando las tres fases (L1, L2, L3) y calculando el porcentaje de desequilibrio.



La fórmula utilizada es:

$$\text{Desequilibrio (\%)} = \frac{\text{Corriente max} - \text{Corriente min}}{\text{Corriente prom}} * 100$$

$$\text{Factor de potencia (FP)} = \cos(\text{angulo de desfase entre voltaje y corriente})$$

#### 5. Software predictivo (Fractal, Excel técnico, Sap PM)

El software predictivo permite registrar, analizar y visualizar datos técnicos de mantenimiento. Puede generar alertas automáticas, reportes gráficos, órdenes de trabajo y clasificaciones de criticidad. Se utiliza para automatizar el diagnóstico, generar historial técnico y facilitar la toma de decisiones. En versiones avanzadas, permite integrar sensores en tiempo real y aplicar inteligencia artificial para anticipar fallas.



#### Diagnóstico sin instrumentos

Aunque en laboratorio no se utilizarán sensores ni equipos especializados, se simularán escenarios reales mediante casos técnicos con datos numéricos. El estudiante aplicará fórmulas para:

- Calcular desviaciones térmicas, eléctricas y mecánicas.
- Evaluar la severidad de fallas mediante el Índice de Criticidad Predictiva (ICP).
- Determinar indicadores clave como MTBF, MTTR y disponibilidad operativa.

Esto permite desarrollar habilidades de diagnóstico técnico, interpretación de datos y toma de decisiones fundamentadas.

#### Herramientas teóricas y fórmulas aplicadas

Aunque no se usen físicamente, se estudiarán las funciones de instrumentos como:

- Cámara termográfica: detecta puntos calientes.
- Vibrómetro: mide amplitud de vibraciones.
- Megóhmetro: evalúa resistencia de aislamiento.
- Analizador de redes: mide corriente, voltaje y armónicos.

## Motores eléctricos

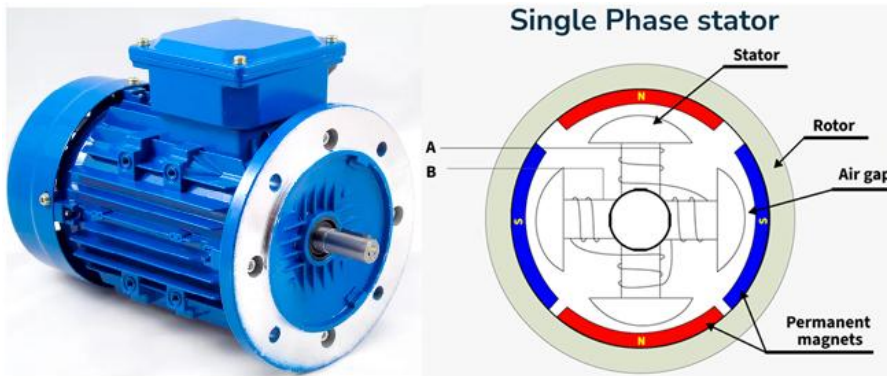
Los motores eléctricos de imanes permanentes son dispositivos rotativos que convierten energía eléctrica en energía mecánica mediante la interacción entre campos magnéticos fijos (en el rotor) y campos variables (generados por el estator). Su diseño compacto y alta eficiencia los hace ideales para aplicaciones industriales y domésticas.

Existen dos configuraciones principales según el tipo de alimentación eléctrica:

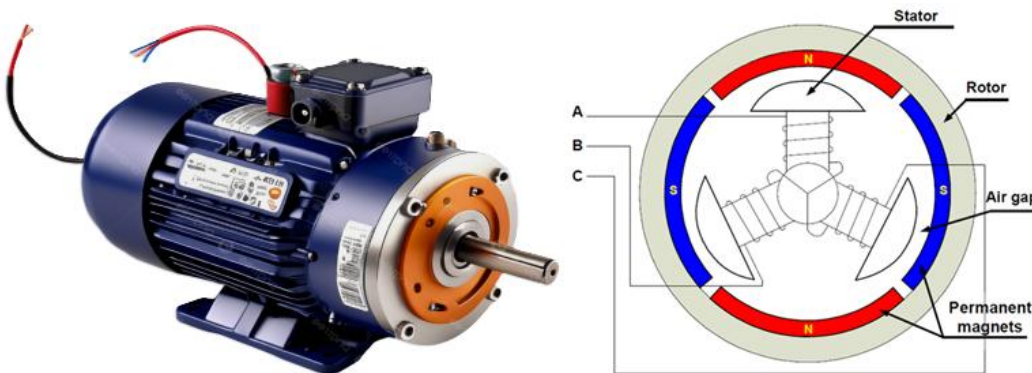
- Motor monofásico: alimentado por una sola fase y neutro.
- Motor trifásico: alimentado por tres fases desfasadas  $120^\circ$  entre sí.

Ambos comparten componentes básicos como estator, rotor, entrehierro y carcasa, pero difieren en su comportamiento magnético, eficiencia operativa y complejidad diagnóstica.

- Una fase (monofásico) se utiliza en sistemas residenciales o de baja potencia, donde la red eléctrica solo dispone de una fase y neutro. Es más simple, económico y fácil de instalar, pero tiene limitaciones técnicas:
  - No genera campo magnético rotativo por sí solo
  - Requiere elementos auxiliares para arrancar
  - Tiene menor torque, más vibración y menor eficiencia



- Tres fases (trifásico) se emplea en entornos industriales, donde se necesita mayor potencia, estabilidad y eficiencia. La alimentación trifásica permite:
  - Generar un campo magnético rotativo natural
  - Arranque directo sin elementos auxiliares
  - Mejor distribución de carga, menor vibración y mayor rendimiento térmico



¿Porque esa configuración?

- El motor monofásico es ideal para cargas pequeñas y aplicaciones domésticas.
- El motor trifásico es esencial en maquinaria industrial y procesos que requieren operación continua y confiable.

Comparación funcional entre motor monofásico y trifásico

Componentes comunes en ambos motores

- Stator: Parte fija que contiene las bobinas generadoras del campo magnético.
- Rotor: Parte giratoria conectada al eje mecánico.
- Air gap (entrehierro): Espacio entre rotor y estator, clave para la eficiencia magnética.
- Imanes permanentes: Integrados en el rotor para generar el campo magnético sin corriente inducida.

Diferencias entre motor monofásico y trifásico

- Alimentación y corriente:
  - Monofásico: Una sola fase; se evalúa la desviación de corriente respecto a la nominal del equipo.
  - Trifásico: Tres fases; se evalúa el desequilibrio de corriente entre fases y su promedio.
- Aislamiento y prueba:
  - Monofásico: Prueba típica a 500 V; el circuito del capacitor puede influir y debe aislarse al medir fuera de servicio.
  - Trifásico: Puede probarse a 500–1000 V; se evalúa fase–tierra y, si aplica, entre fases; exigencia de aislamiento suele ser mayor.
- Variables medidas y foco:
  - Monofásico: Corriente y vibración del conjunto ventilador–motor; alta influencia del impulsor y capacitor.
  - Trifásico: Corriente por fase, temperatura, vibración ligada a acople/alineación; criticidad de proceso normalmente mayor.
- Interpretación de confiabilidad:
  - Común cálculo (MTBF, MTTR, disponibilidad, ICP), pero el peso en el diagnóstico es mayor en trifásicos de proceso.

Tabla comparativa

Aspecto técnico	Motor monofásico	Motor trifásico
<b>Alimentación eléctrica</b>	2 terminales: A y B (fase + neutro)	3 terminales: A, B y C (tres fases desfasadas 120°)
<b>Estator</b>	Un solo devanado principal	Tres devanados distribuidos a 120° eléctricos
<b>Rotor</b>	Contiene imanes permanentes	Contiene imanes permanentes
<b>Campo magnético</b>	Alternante, no rotativo por sí solo	Rotativo natural por desfase entre fases
<b>Arranque</b>	Requiere bobina auxiliar y condensador para crear desfase	No requiere elementos auxiliares para girar
<b>Entrehierro</b>	Presente entre estator y rotor	Presente entre estator y rotor
<b>Eficiencia operativa</b>	Menor, con más vibración y menor torque	Mayor, con menos vibración y mejor rendimiento térmico
<b>Aplicaciones típicas</b>	Electrodomésticos, ventiladores, bombas pequeñas	Maquinaria industrial, compresores, ventiladores grandes, bombas de alto caudal
<b>Variables predictivas clave</b>	Temperatura, corriente, vibración, aislamiento	Desequilibrio de fases, vibración, temperatura, aislamiento, factor de potencia

Criterios técnicos para diagnóstico predictivo

Variable	Fórmula	Límite técnico
Desviación térmica	$\frac{T_{medida} - T_{límite}}{T_{límite}} \times 100$	>25 %
Desequilibrio de corriente	$\frac{I_{max} - I_{min}}{I_{prom}} \times 100$	>15 %
Exceso vibratorio	$\frac{V_{medida} - V_{límite}}{V_{límite}} \times 100$	>30 %
Resistencia mínima esperada	$V_{prueba}/100$	< valor calculado
Distorsión armónica	$\frac{THD_{medido} - THD_{límite}}{THD_{límite}} \times 100$	>50 %
Ruido eléctrico	$\frac{dB_{medido} - dB_{límite}}{dB_{límite}} \times 100$	>40 %

## Diagnóstico en sistemas eléctricos

Variable	Fórmula	Límite técnico	Interpretación
<b>Desviación térmica</b>	$\frac{T_{medida} - T_{límite}}{T_{límite}} \times 100$	>25 %	Sobrecalentamiento crítico en tableros, fusibles, transformadores
<b>Desequilibrio de corriente</b>	$\frac{I_{max} - I_{min}}{I_{prom}} \times 100$	>15 %	Riesgo de falla por distribución desigual de carga
<b>Resistencia de aislamiento mínima</b>	$V_{prueba}/100$	< valor calculado	Deterioro dieléctrico, riesgo de cortocircuito
<b>Distorsión armónica (THD)</b>	$\frac{THD_{medido} - THD_{límite}}{THD_{límite}} \times 100$	>50 %	Daño potencial a equipos sensibles
<b>Ruido eléctrico (ultrasonido)</b>	$\frac{dB_{medido} - dB_{límite}}{dB_{límite}} \times 100$	>40 %	Descarga parcial o fuga eléctrica
<b>Desequilibrio de fases</b>	$\frac{I_{max} - I_{min}}{I_{prom}} \times 100$	>15 %	Ineficiencia energética y desgaste acelerado

## Diagnóstico en sistemas mecánicos

Variable	Fórmula	Límite técnico	Interpretación
<b>Exceso vibratorio</b>	$\frac{V_{medida} - V_{límite}}{V_{límite}} \times 100$	>30 %	Desalineación, desgaste de rodamientos, holguras
<b>Temperatura de rodamientos</b>	$\frac{T_{medida} - T_{límite}}{T_{límite}} \times 100$	>25 %	Fricción excesiva o falta de lubricación
<b>Desviación acústica (ruido mecánico)</b>	$\frac{dB_{medido} - dB_{límite}}{dB_{límite}} \times 100$	>40 %	Golpeteo, fricción, falla incipiente
<b>Exceso de torque o carga</b>	$\frac{C_{medida} - C_{nominal}}{C_{nominal}} \times 100$	>20 %	Sobrecarga mecánica, riesgo de rotura

## Diferencia fundamental

- Motor monofásico: Solo tiene una corriente de línea → lo que interesa es cuánto se desvía respecto a la corriente nominal.

$$\text{Desviación de corriente} = \frac{I_{medida} - I_{nominal}}{I_{nominal}}$$

- Motor trifásico: Tiene tres corrientes de fase → lo que interesa es si están balanceadas.

$$I_{prom} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}; \text{ Desequilibrio de Corriente} = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{prom}} * 100$$

Se sustituye una fórmula por la otra según el tipo de motor. No se usan ambas a la vez.

Indicadores aplicables a ambos sistemas

Indicador	Fórmula	Límite técnico	Interpretación
<b>ICP (Índice de criticidad predictiva)</b>	$S \times P \times D$	>200	Alta prioridad de intervención
<b>MTBF (Tiempo medio entre fallas)</b>	$\frac{T_{trabajo} - T_{paro}}{N_{fallos}}$	<80 h	Baja confiabilidad operativa
<b>MTTR (Tiempo medio para reparar)</b>	$\frac{T_{mantenimiento}}{N_{intervenciones}}$	>1.5 h	Bajo desempeño técnico
<b>Disponibilidad operativa</b>	$\frac{T_{trabajo} - T_{paro}}{T_{trabajo}} \times 100$	<95 %	Riesgo de pérdida de continuidad

b) Índice de criticidad predictiva (ICP)

$$ICP = S * P * D$$

S= Severidad (impacto técnico o económico)

P=Probabilidad (frecuencia estimada)

D= Dificultad de detección

Un valor de ICP>200 indica conducción crítica que requiere intervención prioritaria.

c) Indicadores de desempeño

MTBF (Tiempo medio entre fallas):

$$MTBF = \frac{T_{trabajo} - T_{paro}}{N_{fallos}}$$

MTTR (Tiempo medio para reparar):

$$MTTR = \frac{T_{mantenimiento}}{N_{intervenciones}}$$

Disponibilidad operativa

$$Disponibilidad = \frac{T_{trabajo} - T_{paro}}{T_{trabajo}} * 100$$

Interpretación de resultados

- Los cálculos permitirán al estudiante emitir un diagnóstico técnico fundamentado. Por ejemplos:
- Si la desviación térmica supera el 25%, se considera sobrecalentamiento crítico.
- Si la resistencia de aislamiento esta por debajo del mínimo, hay riesgo de cortocircuito.
- Si el ICP supera 200, requiere intervención inmediata.
- Este enfoque fortalece la capacidad de análisis técnico, incluso sin acceso a equipos físicos, y prepara al estudiante para entornos industriales reales.

## Ejercicio 1 – Motor trifásico (compresor industrial)

Durante una inspección mensual se evalúa un motor trifásico de 20 HP (caballos de fuerza) instalado en un compresor. Con una cámara termográfica se registra una temperatura de 85 °C (grados Celsius), siendo el límite 65 °C (grados Celsius). Con un analizador de redes se miden las corrientes: L1 = 16.2 A (amperios), L2 = 13.5 A (amperios) y L3 = 14.1 A (amperios). Con un vibrómetro se obtiene una vibración de 6.8 mm/s (milímetros/segundos), con límite de 4.5 mm/s (milímetros/segundos). Con un megóhmetro a 1000 V (voltios) se mide una resistencia de aislamiento de 2.5 MΩ (megaohmios). El motor ha trabajado 200 h (horas) en el mes, con 10 h (horas) de paro y 3 h (horas) de mantenimiento correctivo, distribuidas en 2 fallos y 2 intervenciones. Asignación de S, P y D: Según el criterio y experiencia del técnico, se asigna S = 9, P = 6 y D = 5. Instrucción: Calcule desviación térmica, desequilibrio de corriente, exceso vibratorio, resistencia mínima esperada, ICP, MTBF, MTTR y disponibilidad. Emita diagnóstico técnico completo.

### Clasificación y organización de la información

Contexto: Motor trifásico de 20 HP en compresor principal.

Temperatura	Corrientes	Vibración	Aislamiento	Confiabilidad (mes)	Criterios técnicos
Muestra=85 °C	L1=16.2 A	Muestra=6.8 mm/s	Resistencia=2.5 MΩ	Trabajo=200 h	S=9
Limite=65 °C	L2= 13.5 A	Limite= 4.5 mm/s	Voltaje=1000 V	Paro=10 h	P=6
	L3=14.1 A			Mant. Correctivo= 3h	D=5
				Fallos=2	
				Intervenciones=2	

### PARTE ELÉCTRICA:

Desviación térmica (termografía):

$$DT = \frac{T_{media} - T_{limite}}{T_{limite}} * 100 = \frac{85^{\circ}C - 65^{\circ}C}{65^{\circ}C} * 100 = 30.77\%$$

Desequilibrio de corriente (analizador de redes):

$$I_{prom} = \frac{16.2 A + 13.5 A + 14.1 A}{3} = 14.6 A$$
$$DC = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{prom}} * 100 = \frac{16.2 A - 13.5 A}{14.6 A} * 100 = 18.49\%$$

Resistencia mínima esperada (Imáx=1 mA)

$$R_{min} = \frac{V_{prueba}}{I_{fuga}} = \frac{1000 V}{0.001 A} = 1 M\Omega$$

### PARTE MECÁNICA:

Exceso vibratorio (vibrómetro):

$$Ev = \frac{V_{media} - V_{límite}}{V_{límite}} * 100 = \frac{6.8 - 4.5}{4.5} * 100 = 51.11\%$$

#### CONFIABILIDAD:

*ICP (Índice de criticidad predictiva):*

$$ICP = S * P * D = 9 * 6 * 5 = 270$$

MTBF (Tiempo medio entre fallas):

$$MTBF = \frac{T_{trabajo} - T_{paro}}{N_{fallos}} = \frac{200 \text{ h} - 10 \text{ h}}{2} = 95 \text{ h}$$

MTTR (Tiempo medio para reparar):

$$MTTR = \frac{T_{mantenimiento}}{N_{intervenciones}} = \frac{3 \text{ h}}{2} = 1.5 \text{ h}$$

Disponibilidad operativa

$$Disponibilidad = \frac{T_{trabajo} - T_{paro}}{T_{trabajo}} * 100 = \frac{200 \text{ h} - 10 \text{ h}}{200 \text{ h}} * 100 = 95\%$$

Diagnóstico técnico completo

- Eléctrico: Sobretemperatura significativa (+30.77%) y desequilibrio de fases alto (+18.49%) con aislamiento aceptable; balancear cargas por fase, revisar tensiones de alimentación, apriete de terminales y calidad de conexión del compresor.
  - Desviación térmica señala estrés térmico por sobrecarga/desequilibrio/ventilación deficiente.
  - Desequilibrio evidencia distribución desigual de corriente que eleva pérdidas y temperatura.
  - Aislamiento cumple: 1 MΩ a 1000 V; medido 2.5 MΩ → sin fuga relevante.
- Mecánico: Vibración muy alta (+51.11%); posible desalineación de acople, desbalance del conjunto compresor–volante, holgura en soportes o deterioro de rodamientos.
  - Exceso vibratorio supera el umbral, orientando a corrección de acople/balanceo y revisión de elementos giratorios.
- Confiabilidad: Disponibilidad buena (95.00%) y MTBF aceptable (95 h) para equipo de proceso; MTTR moderado (1.5 h). ICP muy alto (270) → prioridad inmediata de intervención.
  - Qué fórmula lo indica y por qué:
    - Disponibilidad confirma continuidad, pero los riesgos eléctricos/mecánicos amenazan mantenerla.
    - MTBF muestra frecuencia de fallos;
    - MTTR marca tiempo de reparación;
    - ICP cuantifica la criticidad y urgencia.
- Acciones recomendadas:
  - Balance de fases y verificación de acometidas/terminales; corrección de desequilibrio ≤10–15%.



- Indicadas por la fórmula de desequilibrio de corriente.
- Alineación del acoplamiento, balanceo del conjunto giratorio y revisión/cambio de rodamientos; objetivo vibración  $\leq 4.5$  mm/s.
  - Guiadas por el exceso vibratorio calculado.
- Gestión térmica: limpieza de rejillas, verificación de ventilación forzada, revisión de carga del compresor; meta temperatura  $\leq 65$  °C.
  - Derivadas de la desviación térmica.
- Plan de confiabilidad: mantener disponibilidad  $\geq 95\%$ , elevar MTBF  $> 100$  h y sostener MTTR  $\leq 1.5$  h mediante repuestos críticos y procedimientos estándar.
  - Basado en las métricas de MTBF/MTTR/disponibilidad e ICP.

## Ejercicio 2 – Motor monofásico (ventilador de extracción)

Durante una inspección mensual se evalúa un motor monofásico de 1.5 HP instalado en un sistema de ventilación. Con una cámara termográfica se registra una temperatura de 70 °C, siendo el límite 60 °C. Con una pinza amperimétrica se mide una corriente de 7.1 A, siendo la nominal 5.5 A. Con un vibrómetro se obtiene una vibración de 4.4 mm/s, con límite 3.0 mm/s. Con un megóhmetro a 500 V se mide una resistencia de aislamiento de 2.2 MΩ. El motor ha trabajado 160 h en el mes, con 6 h de paro y 2 h de mantenimiento correctivo, correspondientes a 1 fallo y 1 intervención. Según criterio técnico, se asigna S = 7, P = 4 y D = 3. Instrucción: Calcule desviación térmica, desviación de corriente, exceso vibratorio, resistencia mínima esperada, ICP, MTBF, MTTR y disponibilidad. Emita diagnóstico técnico completo.

Clasificación y organización de la información

Contexto: Motor monofásico de 1.5 HP en ventilación.

Temperatura	Corriente	Vibración	Aislamiento	Confiabilidad (mes)	Criterios técnicos
Muestra=70 °C	Muestra=7.1 A	Muestra=4.4 mm/s	Resistencia=2.2 MΩ	Trabajo=160 h	S=7
Límite=60 °C	Nominal=5.5 A	Límite= 3.0 mm/s	Voltaje=500 V	Paro=6 h	P=4
				Mant. = 2h	D=3
				Fallos=1	
				Intervenciones=1	

## SOLUCION PARTE ELECTRICA

Desviación térmica (termografía):

$$DT = \frac{T_{media} - T_{límite}}{T_{límite}} * 100 = \frac{70^{\circ}C - 60^{\circ}C}{60^{\circ}C} * 100 = 16.67\%$$

Desviación de corriente (analizador de redes):

$$DC = \frac{I_{medida} - I_{nominal}}{I_{nominal}} * 100 = \frac{7.1 A - 5.5 A}{5.5 A} * 100 = 29.09\%$$

Resistencia mínima esperada (Imax=1 mA)

$$R_{min} = \frac{V_{prueba}}{I_{fuga}} = \frac{500 V}{0.001 A} = 0.5 M\Omega \quad (\text{Medida}=2.2 M\Omega > R_{min}) \text{ cumple aislamiento}$$

## PARTE MECANICA

Exceso vibratorio (vibrómetro):

$$Ev = \frac{V_{media} - V_{límite}}{V_{límite}} * 100 = \frac{4.4 - 3.0}{3.0} * 100 = 46.67\%$$

## CONFIABILIDAD

*ICP (Índice de criticidad predictiva):*

$$ICP = S * P * D = 7 * 4 * 3 = 84$$

MTBF (Tiempo medio entre fallas):

$$MTBF = \frac{T_{trabajo} - T_{paro}}{N_{fallos}} = \frac{160 h - 6 h}{1} = 154 h$$

MTTR (Tiempo medio para reparar):

$$MTTR = \frac{T_{mantenimiento}}{N_{intervenciones}} = \frac{2 h}{1} = 2.0 h$$

Disponibilidad operativa

$$Disponibilidad = \frac{T_{trabajo} - T_{paro}}{T_{trabajo}} * 100 = \frac{160 h - 6 h}{160 h} * 100 = 96.25\%$$

Diagnóstico técnico completo

- Eléctrico: Sobretemperatura moderada (+16.67%) y sobrecorriente marcada (+29.09%) con aislamiento conforme ( $2.2 \text{ M}\Omega > 0.5 \text{ M}\Omega$ ). Probable combinación de capacitor de marcha/arranque degradado, resistencia de contacto en terminales y carga aerodinámica elevada del ventilador.
  - Por qué: La desviación térmica confirma estrés térmico; la desviación de corriente evidencia operación por encima de la nominal; el aislamiento cumple, descartando fuga relevante.
- Mecánico: Exceso vibratorio alto (+46.67%). Posible desbalance del impulsor, suciedad en palas, holguras en soportes o rodamientos con desgaste.
  - Por qué: La métrica de vibración supera el umbral, orientando a balanceo, limpieza y verificación de alineación/soportes.
- Confiabilidad: Disponibilidad alta (96.25%), MTBF robusto (154 h) y MTTR elevado (2.0 h). ICP moderado-alto (84) → intervención programada pronta para estabilizar operación y reducir tiempos de reparación.

Acciones recomendadas

- Gestión térmica:
  - Limpieza de rejillas y carcasa, verificación de flujo de aire y disipación; objetivo temperatura  $\leq 60$  °C.
- Eléctrico:
  - Medición del capacitor (capacitancia y ESR) y reemplazo si fuera de tolerancia; re-medición buscando corriente  $\approx 5.5 \text{ A}$ .
  - Apretar/limpiar terminales; verificar caída de tensión y calidad de alimentación.
- Mecánico:

- Balanceo y limpieza del impulsor; inspección de soportes y alineación.
- Revisar/lubricar o sustituir rodamientos; objetivo vibración  $\leq 3.0$  mm/s.
- Confiabilidad operacional:
  - Reducir MTTR a  $\leq 1.5$  h mediante repuestos críticos y procedimiento estándar.
  - Monitoreo mensual de corriente, temperatura y vibración hasta estabilización en rangos nominales.

## Ejercicios de instalaciones eléctricas

### Ejercicio 3 – Tablero principal

Durante una inspección técnica en el tablero principal de una planta industrial, con una cámara termográfica se registra una temperatura de  $75^{\circ}\text{C}$  (grados Celsius) en un interruptor, siendo el límite  $55^{\circ}\text{C}$  (grados Celsius). Con un analizador de redes se mide una distorsión armónica total (THD) de  $9.1\%$  (por ciento), con límite de  $5\%$  (por ciento). Con un detector ultrasónico se registra un ruido eléctrico de  $39\text{ dB}$  (decibelios), siendo el límite  $25\text{ dB}$  (decibelios). El sistema ha trabajado  $200\text{ h}$  (horas) en el mes, con  $12\text{ h}$  (horas) de paro y  $3\text{ h}$  (horas) de mantenimiento correctivo, distribuidas en 2 fallos y 2 intervenciones. Asignación de S, P y D: Según criterio técnico,  $S = 9$ ,  $P = 6$  y  $D = 5$ . Instrucción: Calcule desviación térmica, exceso armónico, exceso de ruido, ICP, MTBF, MTTR y disponibilidad. Emita diagnóstico técnico.

### Clasificación y organización de la información

Contexto: Tablero principal de planta industrial.

Temperatura	Distorsión armónica (TDH)	Ruido ultrasónico	Corriente	Confiabilidad	Criterios técnicos
Muestra= $75^{\circ}\text{C}$	Muestra= $9.1\%$	Muestra= $39\text{ dB}$	$L1=120\text{ A}$	Trabajo= $200\text{ h}$	$S=9$
Límite= $55^{\circ}\text{C}$	Límite= $5.0\%$	Límite= $25\text{ dB}$	$L2= 98\text{ A}$	Paro= $12\text{ h}$	$P=6$
			$L3= 105\text{ A}$	Mant. = $3\text{ h}$	$D=5$
				Fallos= $2$	
				Intervenciones= $2$	

### Termografía: Desviación térmica

$$DT = \frac{T_{media} - T_{límite}}{T_{límite}} * 100 = \frac{75^{\circ}\text{C} - 55^{\circ}\text{C}}{55^{\circ}\text{C}} * 100 = 36.36\%$$

### Calidad de energía: Exceso armónico (THD)

$$DT = \frac{THD_{medida} - THD_{límite}}{THD_{límite}} * 100 = \frac{9.1 - 5.0}{5.0} * 100 = 82.00\%$$

Ultrasonido: Exceso de ruido eléctrico

$$DT = \frac{N_{medido} - N_{límite}}{N_{límite}} * 100 = \frac{39 \text{ Db} - 25 \text{ Db}}{25 \text{ Db}} * 100 = 56.00\%$$

Corriente Trifásica: Promedio y desequilibrio

$$I_{prom} = \frac{120 \text{ A} + 98 \text{ A} + 105 \text{ A}}{3} = 107.67 \text{ A}$$

$$DC = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{prom}} * 100 = \frac{120 \text{ A} - 98 \text{ A}}{107.67 \text{ A}} * 100 = 20.43\%$$

CONFIABILIDAD

*ICP (Índice de criticidad predictiva):*

$$ICP = S * P * D = 9 * 6 * 5 = 270$$

MTBF (Tiempo medio entre fallas):

$$MTBF = \frac{T_{trabajo} - T_{paro}}{N_{fallos}} = \frac{200 \text{ h} - 12 \text{ h}}{2} = 94 \text{ h}$$

MTTR (Tiempo medio para reparar):

$$MTTR = \frac{T_{mantenimiento}}{N_{intervenciones}} = \frac{3 \text{ h}}{2} = 1.5 \text{ h}$$

Disponibilidad operativa

$$Disponibilidad = \frac{T_{trabajo} - T_{paro}}{T_{trabajo}} * 100 = \frac{200 \text{ h} - 12 \text{ h}}{200 \text{ h}} * 100 = 94.00 \%$$

Diagnóstico técnico

- Eléctrico — temperatura:
  - Hallazgo: Sobretemperatura del interruptor (+36.36%).
  - Interpretación: Alta resistencia de contacto/aflojamiento de bornes, sobrecarga de circuito, o disipación térmica deficiente en el riel/encapsulado.
- Calidad de energía — armónicos:
  - Hallazgo: THD excedido (+82.00% sobre el límite).
  - Interpretación: Cargas no lineales (variadores, fuentes conmutadas) sin filtrado adecuado; riesgo de calentamiento adicional en conductores y equipos, disparos intempestivos y reducción de vida útil.
- Ultrasonido — ruido eléctrico:
  - Hallazgo: Exceso de ruido (+56.00%).
  - Interpretación: Posible corona/descargas parciales en conexiones, barras o aisladores; también puede indicar puntos de arco incipiente en interruptores o seccionadores.
- Confiabilidad:
  - Métricas: ICP muy alto (270), disponibilidad 94.00 %, MTBF 94 h, MTTR 1.5 h.
  - Impulso de acción: Prioridad inmediata de intervención para evitar eventos térmicos/eléctricos y estabilizar la calidad de energía.

- Temperatura (prioritario):
  - Inspección y apriete de bornes; limpieza de contactos y verificación de torque según fabricante.
  - Termografía post-intervención; confirmar reducción hacia  $\leq 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Revisión de carga y balanceo entre circuitos; evaluar reemplazo del interruptor si persiste calentamiento.
- Armónicos (calidad de energía):
  - Auditoría de cargas no lineales; inventario de VFDs/rectificadores.
  - Instalación/ajuste de filtros activos/pasivos; revisión de impedancia del sistema y punto de medición.
  - Monitoreo continuo de THD; objetivo  $\leq 5\%$ .
- Ruido ultrasónico:
  - Barrido detallado con ultrasonido; localizar puntos de corona/arqueo.
  - Limpieza y acondicionamiento de barras/aisladores; corrección de distancias y pantallas.
  - Ensayo dieléctrico puntual si aplica.
- Confiabilidad:
  - Plan de respuesta rápida: mantener MTTR  $\leq 1.5\text{ h}$  con repuestos críticos disponibles.
  - Revisión de mantenimiento preventivo: reducir paros y elevar MTBF  $> 100\text{ h}$ .
  - Registro y verificación post-medidas: repetir mediciones de temperatura, THD y ruido para confirmar mejora.
  -

#### Ejercicio 4 – Línea de alimentación trifásica

Durante una inspección de la línea de alimentación trifásica, con cámara termográfica se registra una temperatura de  $72\text{ }^{\circ}\text{C}$  en una conexión de barra (límite  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Con analizador de redes se miden corrientes:  $L1 = 17\text{ A}$ ,  $L2 = 13\text{ A}$ ,  $L3 = 14\text{ A}$ , y una THD de  $8.0\%$  (límite  $5.0\%$ ). Con megóhmetro a  $1000\text{ V}$  se obtiene resistencia de aislamiento de  $0.7\text{ M}\Omega$ . Se añade medición de ruido ultrasónico:  $32\text{ dB}$  (límite  $25\text{ dB}$ ). El sistema ha trabajado  $180\text{ h}$  en el mes, con  $10\text{ h}$  de paro y  $4\text{ h}$  de mantenimiento correctivo, distribuidas en 3 fallos y 3 intervenciones. S–P–D: 9, 7, 6. Instrucción: Calcular desviación térmica, desequilibrio de corriente, exceso armónico (THD), exceso de ruido ultrasónico, resistencia mínima esperada, ICP, MTBF, MTTR y disponibilidad. Emitir diagnóstico técnico y precisar si cambian conclusiones/acciones al incluir ultrasonido.

#### Clasificación y organización de la información

Contexto: Línea de alimentación trifásica en servicio.

Temperatura	Distorsión armónica (TDH)	Ruido ultrasónico	Corriente	Confiabilidad	Criterios técnicos
Muestra= $72\text{ }^{\circ}\text{C}$	Muestra= $8.0\%$	Muestra= $32\text{ dB}$	$L1=17\text{ A}$	Trabajo= $180\text{ h}$	$S=9$
Límite= $60\text{ }^{\circ}\text{C}$	Límite= $5.0\%$	Límite= $25\text{ dB}$	$L2=13\text{ A}$	Paro= $10\text{ h}$	$P=7$
			$L3=14\text{ A}$	Mant. = $4\text{ h}$	$D=6$
				Fallos= $3$	
				Intervenciones= $3$	

Termografía: Desviación térmica

$$DT = \frac{T_{media} - T_{límite}}{T_{límite}} * 100 = \frac{72^{\circ}C - 60^{\circ}C}{60^{\circ}C} * 100 = 20.00\%$$

Corriente: Promedio y desequilibrio trifásico

$$I_{prom} = \frac{17 A + 13 A + 17 A}{3} = 14.67 A$$

$$DC = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{prom}} * 100 = \frac{17 A - 13 A}{14.67 A} * 100 = 27.27 \%$$

Calidad de energía: Exceso armónico (THD)

$$DT = \frac{THD_{medida} - THD_{límite}}{THD_{límite}} * 100 = \frac{8.0 - 5.0}{5.0} * 100 = 60.00\%$$

Ultrasonido: Exceso de ruido eléctrico

$$DT = \frac{N_{medido} - N_{límite}}{N_{límite}} * 100 = \frac{32 Db - 25 Db}{25 Db} * 100 = 28.00\%$$

Aislamiento: Resistencia mínima esperada ( $I_{max}=1$  mA)

$$R_{min} = \frac{V_{prueba}}{I_{fuga}} = \frac{1000 V}{0.001 A} = 1 M\Omega$$

Comparación:  $0.7 M\Omega < 1.0 M\Omega \rightarrow$  no cumple aislamiento.

## CONFIABILIDAD

ICP (Índice de criticidad predictiva):

$$ICP = S * P * D = 9 * 7 * 6 = 378$$

MTBF (Tiempo medio entre fallas):

$$MTBF = \frac{T_{trabajo} - T_{paro}}{N_{fallos}} = \frac{180 h - 10 h}{3} = 56.67 h$$

MTTR (Tiempo medio para reparar):

$$MTTR = \frac{T_{mantenimiento}}{N_{intervenciones}} = \frac{4 h}{3} = 1.33 h$$

Disponibilidad operativa

$$Disponibilidad = \frac{T_{trabajo} - T_{paro}}{T_{trabajo}} * 100 = \frac{180 h - 10 h}{180 h} * 100 = 94.44 \%$$

Diagnóstico técnico

- Temperatura: Sobretemperatura moderada (+20.00%) en barra/conexión, consistente con posible resistencia de contacto (aflojamiento/oxidación) o carga local desbalanceada; aumenta riesgo de degradación dieléctrica y disparos térmicos.
- Corriente: Desequilibrio de fases alto (27.27%); evidencia distribución desigual de cargas o asimetrías de impedancia/conexiones. Incrementa pérdidas y calentamiento en conductores y equipos aguas abajo.

- Armónicos: THD excedida (+60.00% sobre el límite); cargas no lineales (VFDs, fuentes conmutadas) sin filtrado adecuado. Contribuye a calentamiento adicional, ruido eléctrico y posible resonancia/mediciones erráticas.
- Aislamiento: No conforme ( $0.7 \text{ M}\Omega < 1.0 \text{ M}\Omega$ ); sugiere humedad/contaminación o daño en cables/empalmes; riesgo de fugas, descargas parciales y falla dieléctrica.
- Confiabilidad: ICP crítico (378), disponibilidad 94.44 %, MTBF bajo (56.67 h), MTTR aceptable (1.33 h). Se requiere intervención inmediata y verificación post-medidas.

#### Acciones recomendadas

- Temperatura (prioritario):
  - Apriete y limpieza de bornes/barras con torque de fabricante; eliminar óxido/contaminación y mejorar disipación.
  - Balanceo de cargas y revisión de puntos de alta corriente; repetir termografía buscando  $\leq 60$  °C.
- Corrientes (balanceo):
  - Redistribuir cargas por fase; medir caída de tensión por fase y revisar impedancias/derivaciones.
  - Meta desequilibrio:  $\leq 10\text{--}15$  % con monitoreo continuo.
- Armónicos (THD):
  - Auditoría de cargas no lineales; inventario de VFDs/rectificadores.
  - Filtros activos/pasivos en barras o a nivel de carga; revisar impedancia del sistema y posibles resonancias.
  - Objetivo THD:  $\leq 5$  % con registro post-intervención.
- Aislamiento:
  - Pruebas PI/DAR y seccionamiento por tramos para localizar la fuga.
  - Remediación: secado/limpieza, reemplazo de cables/aisladores dañados, sellado de cajas/prensaestopas; repetir prueba buscando  $\geq 1.0 \text{ M}\Omega$ .
- Confiabilidad operativa:
  - Plan de respuesta rápida para mantener  $\text{MTTR} \approx 1.33 \text{ h}$ .
  - Elevar  $\text{MTBF} > 100 \text{ h}$  mediante correcciones anteriores y verificación periódica; objetivo disponibilidad  $\geq 95$  %.

Diferencias clave entre el 3 (tablero principal) y el 4 (línea trifásica)

Aspecto	Ejercicio 3 (tablero principal)	Ejercicio 4 (línea trifásica)
Activo y contexto	Tablero principal (componentes de conmutación y barras)	Línea de alimentación (conducción y distribución de carga)
Mediciones incluidas	Temperatura, THD, ruido ultrasónico	Temperatura, corrientes por fase, THD, resistencia de aislamiento
Cálculos eléctricos principales	Desviación térmica, exceso armónico (THD), exceso de ruido	Desviación térmica, desequilibrio de corriente, exceso armónico (THD), $R_{min}$ vs $M\Omega$
Riesgo dominante	Calidad de energía y fenómenos de descarga/corona	Desbalance de fases y degradación de aislamiento
Enfoque de acciones	Filtrado armónico, saneo de contactos, mitigación de corona/ruido	Balanceo de cargas, saneo del aislamiento, corrección de conexiones y armónicos

Por qué cambian las variables y el énfasis

- Naturaleza del activo:
  - Tablero: Propenso a puntos calientes en interruptores, efectos de armónicos en barras y fenómenos de corona/arqueo → se prioriza temperatura, THD y ruido ultrasónico.
  - Línea: Su función es transportar carga equilibrada y mantener integridad dieléctrica → se prioriza corrientes por fase (desequilibrio) y aislamiento ( $M\Omega$ ).
- Disponibilidad y pertinencia de mediciones:
  - Ej. 3: Incluyó medición de ruido ultrasónico; es clave para detectar descarga parcial en un tablero.
  - Ej. 4: Se midieron corrientes por fase y  $M\Omega$  a 1000 V; son esenciales para evaluar distribución de carga y salud del cableado. Se añadió termografía y THD para homologar el formato y porque ambos influyen en calentamiento de conexiones y barras.
- Rutas de falla típicas:
  - Tablero: Armónicos altos → calentamiento y disparos; ruido ultrasónico → corona/descargas; temperatura elevada en interruptores → resistencia de contacto.
  - Línea: Desequilibrio de corriente → pérdidas y calor; aislamiento bajo → fugas/descargas; armónicos → sobrecalentamiento adicional, aunque su impacto es secundario frente a un  $M\Omega$  no conforme.
- Prioridad de intervención:
  - Ej. 3: Filtrado de armónicos y corrección de puntos de descarga para estabilizar calidad de energía.
  - Ej. 4: Saneamiento del aislamiento y balanceo de cargas para evitar fallas dieléctricas y térmicas, con armónicos tratados en segundo plano.



Ejercicio	Activo evaluado	Variables principales	Riesgo dominante	Enfoque del diagnóstico
<b>1 – Motor trifásico (compresor)</b>	Motor de 20 HP	Temperatura, corrientes trifásicas, vibración, aislamiento, confiabilidad	Sobretemperatura y desequilibrio de fases	Balanceo de cargas, ventilación, alineación mecánica
<b>2 – Motor monofásico (ventilación)</b>	Motor de 1.5 HP	Temperatura, corriente monofásica, vibración, aislamiento, confiabilidad	Sobrecorriente y vibración excesiva	Capacitor de marcha, balanceo del impulsor, rodamientos
<b>3 – Tablero principal</b>	Interruptor/barras	Temperatura, THD, ruido ultrasónico, confiabilidad	Calidad de energía y descargas parciales	Filtrado armónico, saneo de contactos, mitigación de corona
<b>4 – Línea trifásica</b>	Línea de alimentación	Temperatura, corrientes trifásicas, THD, aislamiento, confiabilidad	Desequilibrio de fases y aislamiento deficiente	Balanceo de cargas, saneo dieléctrico, filtros armónicos

Por qué son distintos

- Naturaleza del activo: motor, tablero, línea → cada uno tiene modos de falla diferentes.
- Mediciones disponibles: en motores se mide vibración y corriente; en tablero se mide ruido ultrasónico; en línea se mide aislamiento y balance de fases.
- Diagnóstico técnico: se adapta a lo que realmente amenaza cada activo (ej. corona en tablero vs. aislamiento bajo en línea).

### HOJA DE TRABAJO No. 3

En cada ejercicio, el estudiante debe leer con atención los datos entregados (temperatura, corriente, vibración, THD, aislamiento, ruido ultrasónico y horas de operación), organizarlos y aplicar las fórmulas correspondientes para calcular desviaciones, desequilibrio de corriente, exceso vibratorio, exceso armónico, resistencia mínima esperada, ICP, MTBF, MTTR y disponibilidad. Una vez obtenidos los resultados, deberá investigar qué significa cada hallazgo cuando supera los límites técnicos y redactar un diagnóstico técnico explicando las posibles causas y consecuencias. Finalmente, el estudiante debe investigar qué acciones correctivas o predictivas se pueden aplicar en cada caso (por ejemplo: ajuste de bornes, redistribución de cargas, filtrado de armónicos, saneo de aislamiento, balanceo mecánico) y proponer un plan de intervención priorizado según la criticidad.

#### Ejercicio 1 – Motor trifásico (compresor industrial)

Durante una inspección mensual se evalúa un motor trifásico de 20 HP instalado en un compresor. Con cámara termográfica se registra una temperatura de 85 °C, siendo el límite 65 °C. Con analizador de redes se miden las corrientes: L1 = 16.2 A, L2 = 13.5 A y L3 = 14.1 A. Con vibrómetro se obtiene una vibración de 6.8 mm/s, con límite de 4.5 mm/s. Con megóhmetro a 1000 V se mide resistencia de aislamiento de 2.5 MΩ. El motor trabajó 200 h en el mes, con 10 h de paro y 3 h de mantenimiento correctivo, en 2 fallos y 2 intervenciones. S = 9, P = 6, D = 5. Instrucción: Calcule desviación térmica, desequilibrio de corriente, exceso vibratorio, resistencia mínima esperada, ICP, MTBF, MTTR y disponibilidad. Emita diagnóstico técnico completo.

#### Ejercicio 2 – Motor trifásico (sistema de bombeo)

Un motor trifásico de 10 HP en estación de bombeo presenta temperatura de 76 °C medida con cámara termográfica, límite 60 °C. Corrientes medidas: L1 = 11.5 A, L2 = 10.2 A, L3 = 8.9 A. Vibración registrada: 5.6 mm/s, límite 4 mm/s. Resistencia de aislamiento: 1.8 MΩ con megóhmetro a 500 V. El motor trabajó 180 h en el mes, con 8 h de paro y 2.5 h de mantenimiento correctivo, en 2 fallos y 2 intervenciones. S = 8, P = 5, D = 4. Instrucción: Calcule desviación térmica, desequilibrio de corriente, exceso vibratorio, resistencia mínima esperada, ICP, MTBF, MTTR y disponibilidad. Justifique la asignación de S, P y D.

#### Ejercicio 3 – Motor monofásico (ventilador de extracción)

Se inspecciona un motor monofásico de 1.5 HP en ventilación. Con cámara termográfica se registra una temperatura de 70 °C, límite 60 °C. Corriente medida: 7.1 A; nominal: 5.5 A. Vibración: 4.4 mm/s; límite: 3 mm/s. Resistencia de aislamiento: 2.2 MΩ con megóhmetro a 500 V. El motor trabajó 160 h en el mes, con 6 h de paro y 2 h de mantenimiento correctivo, en 1 fallo y 1 intervención. S = 7, P = 4, D = 3. Instrucción: Calcule desviación térmica, desviación de corriente, exceso vibratorio, resistencia mínima esperada, ICP, MTBF, MTTR y disponibilidad. Emita conclusión técnica.

#### Ejercicio 4 – Motor monofásico (empaquete automático)

Un motor monofásico de 2 HP en línea de empaque presenta temperatura de 68 °C medida con cámara termográfica, límite 60 °C. Corriente: 8.1 A; nominal: 6 A. Vibración: 5.3 mm/s; límite: 3.5 mm/s. Resistencia de aislamiento: 1.6 MΩ con megóhmetro a 500 V. El motor trabajó 150 h en el mes, con 7 h de paro y 2.5 h de mantenimiento correctivo, en 2 fallos y 2 intervenciones. S = 8, P = 5, D = 4. Instrucción: Calcule desviación térmica, desviación de corriente, exceso vibratorio, resistencia mínima esperada, ICP, MTBF, MTTR y disponibilidad. Emita diagnóstico técnico.

#### Ejercicio 5 – Tablero principal

Durante inspección técnica en tablero principal de planta industrial, se registra temperatura de 73 °C en interruptor, límite 55 °C. THD medida: 9.1 %, límite 5 %. Ruido eléctrico ultrasónico: 39 dB, límite 25 dB. El sistema trabajó 200 h en el mes, con 12 h de paro y 3 h de mantenimiento correctivo, en 2 fallos y 2 intervenciones. S = 9, P = 6, D = 5. Instrucción: Calcule desviación térmica, exceso armónico, exceso de ruido, ICP, MTBF, MTTR y disponibilidad. Emita diagnóstico técnico.

#### Ejercicio 6 – Línea de alimentación trifásica

Se inspecciona línea de alimentación trifásica. Con cámara termográfica se registra temperatura de 72 °C en conexión de barra, límite 60 °C. Corrientes medidas: L1 = 17 A, L2 = 13 A, L3 = 14 A. THD: 8.0 %, límite 5 %. Resistencia de aislamiento: 0.7 MΩ con megóhmetro a 1000 V. El sistema trabajó 180 h en el mes, con 10 h de paro y 4 h de mantenimiento correctivo, en 3 fallos y 3 intervenciones. S = 9, P = 7, D = 6. Instrucción: Calcule desviación térmica, desequilibrio de corriente, exceso armónico, resistencia mínima esperada, ICP, MTBF, MTTR y disponibilidad. Emita diagnóstico técnico.

#### Ejercicio 7 – Subtablero de control

En un subtablero de control se registra temperatura de 66 °C con cámara termográfica, límite 50 °C. THD medida: 7.8 %, límite 5 %. Ruido eléctrico: 34 dB, límite 25 dB. El sistema trabajó 160 h en el mes, con 6 h de paro y 2 h de mantenimiento correctivo, en 1 fallo y 1 intervención. S = 8, P = 5, D = 4. Instrucción: Calcule desviación térmica, exceso armónico, exceso de ruido, ICP, MTBF, MTTR y disponibilidad. Emita conclusión técnica.

## PRÁCTICA No. 4

### SOFTWARE PARA MANTENIMIENTO

#### 1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Conocer un software para la gestión del mantenimiento.
- 1.2. Aplicar los conocimientos aprendidos en una plataforma digital.

#### 2. Marco Teórico:

**CMMS:** de las siglas en inglés para *computerized maintenance management system*, traducido al español como “sistema computarizado de gestión del mantenimiento”, son un conjunto de programas de computadora que permiten realizar todos los procesos de gestión del mantenimiento anteriormente mencionados. Mientras una empresa sea pequeña y con pocos equipos, la gestión del mantenimiento por medio de hojas de cálculo y papel es una opción viable, sin embargo, mientras crece la organización se vuelve complicado mantener un seguimiento adecuado de todas las distintas actividades. Para ello se utilizan paquetes de CMMS que agilizan todos estos procesos.

Entre las opciones disponibles para CMMS se encuentran:



fracttal



L2L



Maintain X



Hippo CMMS



UpKeep



ManWinWin

#### Uso de Fracttal One

En la versión gratuita de Fracttal One, puedes gestionar activos y equipos, crear y ejecutar planes de mantenimiento y hacer seguimiento de tareas, todo desde un único lugar. La versión gratuita permite digitalizar el mantenimiento, organizar inventario de piezas y gestionar órdenes de trabajo (OT). Es una herramienta para planificar, ejecutar y controlar tareas de mantenimiento preventivo y correctivo, similar a una versión básica de un CMMS (Software de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador).

En la versión de pago de Fracttal One, se puede realizar una gestión completa del mantenimiento, incluyendo la planificación de tareas, el control de inventarios y proveedores, y la automatización de procesos con herramientas como la monitorización IoT y la inteligencia artificial predictiva. Además, permite la gestión remota desde dispositivos móviles con la app Fracttal Go y el análisis avanzado de datos con módulos de inteligencia de negocios y reportes personalizables.

#### INGRESO A LA PLATAFORMA DE FRACTTAL:

Paso 1: Escribir en el navegador [www.fracttal.com/es/](http://www.fracttal.com/es/)

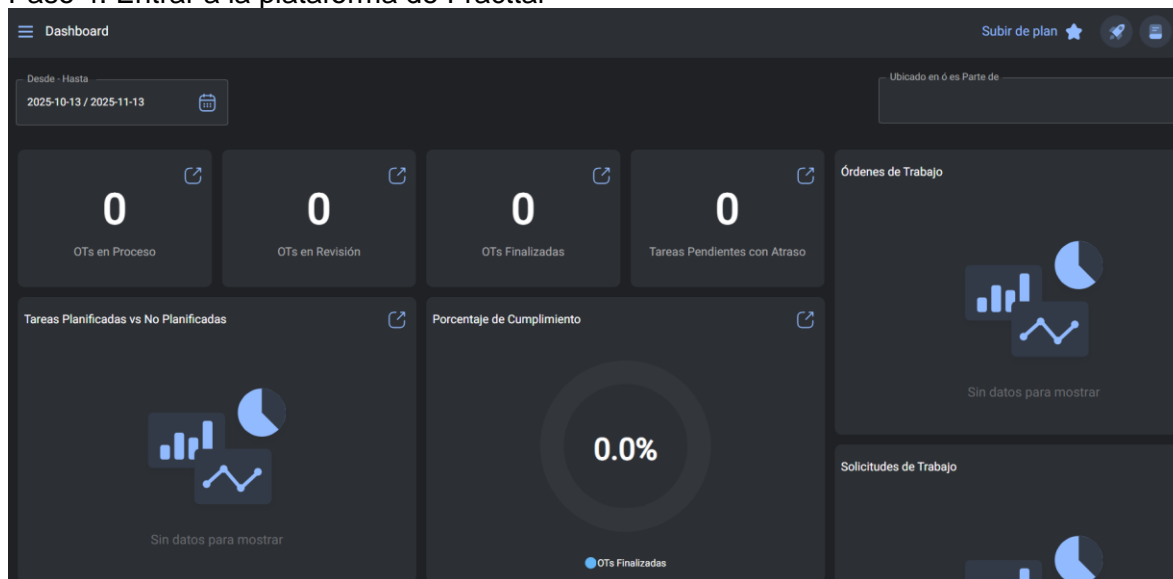


Paso 2: Click en Login

Paso 3: Ingresar con una cuenta de correo electrónico (email) en Google o Microsoft

The login form for Fractal ONE. It features the Fractal ONE logo at the top. Below the logo is the text 'Ingrese sus datos para iniciar sesión'. There are two input fields: 'Email' and 'Contraseña' (Password). Below the password field is a link 'Olvidé mi contraseña'. A 'Siguiente' button is located below the input fields. Below the button is the text 'O iniciar sesión con:' followed by three buttons for 'Google', 'Microsoft', and 'SAML'. At the bottom, there is a link '¿No tienes una cuenta? Crear una cuenta'.

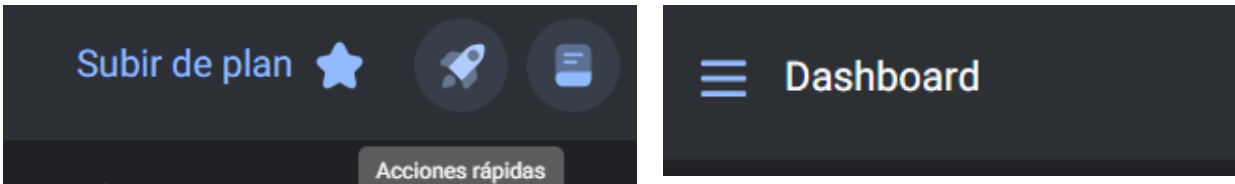
Paso 4: Entrar a la plataforma de Fractal



## B. MENU

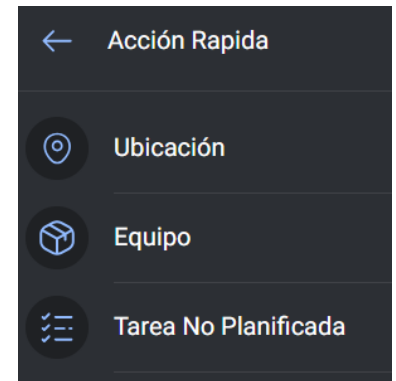
El menú de Fracttal se encuentra en dos modos:

- Acciones rápidas presionando en el cohete de la parte superior derecha
- Dashboard en la parte superior izquierda presionando en las tres líneas



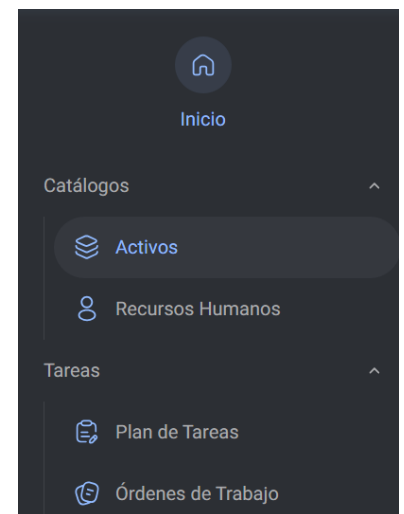
Al presionar acciones rápidas abre un menú con tres opciones:

- Ubicación: gestión de la localización física de los activos dentro del sistema
- Equipo: secciones de la plataforma donde se gestiona y analiza la información de los equipos
- Acciones no planificadas: funcionalidad diseñada para registrar y gestionar actividades imprevistas o hallazgos adicionales que surgen durante la ejecución de una Orden de Trabajo (OT) planificada o como un trabajo reactivo independiente. Su objetivo principal es mantener un registro completo y la trazabilidad de todas las acciones realizadas, incluso aquellas que no se previeron inicialmente.



Al presionar las tres líneas a la par de la opción Dashboard muestra el menú:

- Inicio: devuelve a la pantalla de inicio
- Catálogos que contiene:
  - Activos: seleccionar los diferentes tipos de activos, como Ubicaciones, Equipos, Herramientas, Repuestos y Suministros, y Digitales.
  - Recursos humanos: es un módulo de catálogos que permite registrar y administrar al personal.
- Tareas, contiene:
  - Plan de tareas: para crear, estructurar y gestionar planes de mantenimiento preventivo
  - Órdenes de trabajo: es el módulo central para gestionar todas las actividades de mantenimiento, tanto planificadas como no planificadas



Al presionar Activos, muestra el menú:

- Todos los Activos
- Ubicaciones
- Equipos



## INGRESO DE ACTIVOS EN FRACTAL

1. Ingresar Ubicación: en ubicación ingresar los datos del lugar o planta donde se encuentran los equipos para el mantenimiento, en caso que exista mas de una planta se ingresan distintas ubicaciones.

A screenshot of the 'Activos' form in the Fractal application. The form is divided into several sections. On the left, there is a section for 'Fuera de servicio: No' with a 'Habilitado' toggle switch. Below this is a 'Datos requeridos' section with a warning icon and text: 'Nombre Es demasiado corta (el mínimo es 2 caracteres)' and 'Nombre no puede estar en blanco'. There are also tabs for 'General' and 'Formulario Personalizado'. The main form area contains fields for 'Localización', 'Nombre', 'Código', 'Dirección', 'Ciudad', 'Departamento / Estado / Región', 'País', and 'Código Área'. To the right of these fields is a map interface with a search bar 'Busca en el mapa' and a Google Maps view showing Central America. At the bottom right of the map, there are buttons for 'Mapa' and 'Satélite'.

Al presionar en el espacio de Localización quedan registradas las ubicaciones que han sido ingresadas

A screenshot of the 'Buscar Activos' screen. At the top, there is a search bar with a magnifying glass icon and the text 'Buscar Activos'. Below the search bar, there is a list of active locations. The first entry is 'Taller automotriz Zona 11 Villa nueva T-01' with a location pin icon. Below this entry, there are details: 'Tipo: Ubicaciones', 'Código: T-01', 'Prioridad: Muy Alta', and 'Localización: //'. There are also icons for a list and a filter.

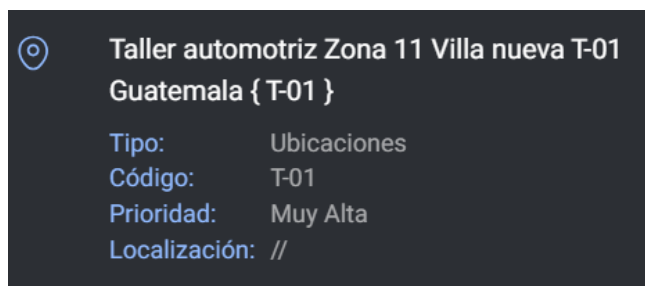
2. Ingresar Equipo, presionar en Acciones Rápidas elegir la opción equipos

- Ingresar los equipos registrados en la planta y que se le dará mantenimiento
- ingresar la ubicación donde se encuentra cada equipo
- al finalizar presionar en la opción guardar.



 A dark-themed form for registering equipment. At the top right is a 'Guardar' (Save) button with a save icon. The form contains several input fields: 'Ubicado en ó es Parte de' (Location or part of) with a dropdown arrow; 'Nombre' (Name) with a red border and a red error message below it: 'Nombre Es demasiado corta (el mínimo es 2 caracteres)'; 'Código' (Code); 'Fabricante' (Manufacturer); 'Modelo' (Model); 'Número de Serial' (Serial Number); 'Otro 1' (Other 1); 'Otro 2' (Other 2); 'Código de Barras / NFC' (Barcode / NFC); and 'Prioridad' (Priority) with a dropdown arrow. A QR code is visible on the left side of the form.

Al presionar en el espacio de Ubicado en ó es Parte de, muestra el registro de los equipos ingresados



3. Ingresar Recursos Humanos: elegir en la opción Catálogos y elegir Recursos Humanos.
  - Presionar en el circulo con el símbolo + en la parte inferior derecha para ingresar a cada colaborador de Mantenimiento
  - Ingresar la información de cada uno y su ubicación según el lugar de trabajo, puede agregarse fotografías.
  - Guardar la información al terminar, presionar en la parte superior derecha: Guardar



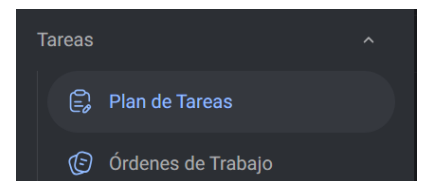
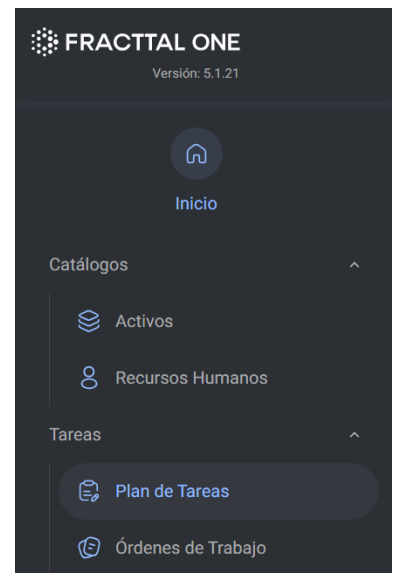
Al termina se visualiza el listado de colaboradores ingresados.

<input type="checkbox"/>	Habilitado	Teams	Cuenta	Código	Nombres	Apellidos	Clasificación 1
<input type="checkbox"/>	SI	No	SI		Byron	Rojas	
<input type="checkbox"/>	SI	No	No	002	Filipino Velorio	García López	Técnico 1
<input type="checkbox"/>	SI	No	No	003	German	Lopez ernades	Técnico 2
<input type="checkbox"/>	SI	No	No	005	Jennifer Jelipa	Lomas Cavas	Chalana 3
<input type="checkbox"/>	SI	No	No	006	Miguel Angel	Sacú Alebon	Supervisor

## MENU TAREAS

El módulo de "Tareas" en Fractal One permite la gestión básica de actividades de mantenimiento. Las funciones principales a las que se tiene acceso incluyen:

- Creación de tareas y subtareas: Posibilidad de definir descripciones para las actividades y desglosar los pasos que los técnicos deben seguir en terreno.
- Asignación de parámetros: Se pueden establecer campos como el tipo de tarea, clasificación, prioridad y duración estimada.
- Planes de tareas: Capacidad para generar planes de mantenimiento preventivo, incluyendo la configuración de activadores por calendario o eventos.
- Gestión de recursos: Permite asociar recursos necesarios, como inventario, personal o servicios externos, para estimar costos.
- Archivos adjuntos: Opción para adjuntar manuales, planos u otra documentación relevante a las tareas.
- Vinculación de activos: Posibilidad de relacionar las tareas con los activos específicos a los que se les realizará el mantenimiento.
- Generación de órdenes de trabajo (OT): Las tareas y planes de tareas se utilizan para generar las órdenes de trabajo que luego el personal ejecuta, las cuales son gestionables en el módulo correspondiente.



## PLAN DE TAREAS

Presionar el + que se encuentra en la parte inferior derecha  
 Mostrará la ventana para ingresar los datos de la nueva tarea  
 Presionar "Guardar" al ingresar las tareas

Al terminar de ingresar las tareas regresar al menú “Plan de Tareas” y se visualizan las tareas ingresadas.

<input type="checkbox"/> Descripción	Tareas asociadas	Activos vinculados	Limitar Acceso a Esta Localización
<input type="checkbox"/> Mantenimiento de camioneta	1	3	//
<input type="checkbox"/> Mantenimiento de motor trifásico	0	0	// Taller automotriz/
<input type="checkbox"/> Mantenimiento preventivo	0	0	// Taller automotriz/
<input type="checkbox"/> Mantenimiento preventivo	0	0	// Taller automotriz/

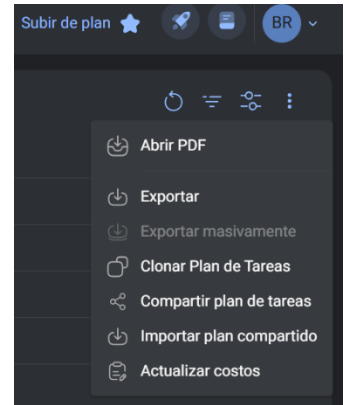
Seleccionar una de las tareas, muestra las opciones:

- General: Muestra la información ingresada de la tarea

- Tareas: visualiza las tareas creadas, para crear una nueva seleccionar el símbolo + dentro de un circulo que se encuentra en la parte inferior derecha.

- Brindará el formato para ingresar una nueva tarea
- Presionar guardar que se encuentra en la parte superior derecha al terminar de ingresar las tareas

En la parte superior derecha y debajo de guardar presionar los tres puntos para exportar las tareas ingresadas para guardar en formato pdf. También puede clonar tareas para ser modificadas, compartir o actualizar costos.



## ORDENES DE TRABAJO

En Fracttal, una orden de trabajo (OT) es un documento formal, digitalizado, que proporciona instrucciones detalladas para realizar tareas de mantenimiento, reparación, o inspección en un activo o instalación específicos. Es el núcleo de la estrategia de gestión de mantenimiento y organización de tareas.

La OT en Fracttal centraliza toda la información necesaria para que un técnico complete una tarea de manera eficiente, incluyendo:

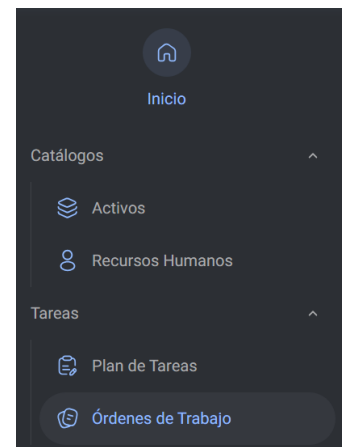
- Descripción detallada de la tarea a realizar.
- Ubicación y el activo involucrado.
- Técnico o personal asignado y el responsable.
- Prioridad y fecha límite.
- Materiales, herramientas u otros recursos necesarios.
- Instrucciones específicas de seguridad o procedimientos.
- Registro de fallos y causas.

Pasos para Generar Órdenes de Trabajo, Asignar Recursos y Dar Seguimiento

1. Ingresar al módulo: Desde el menú principal, ve a Tareas > Órdenes de Trabajo.
2. Crear nueva OT: Presiona el botón “+” en la parte inferior derecha.

3. Completar los campos básicos

- Activo: Selecciona el equipo o ubicación donde se realizará el trabajo.



- Título o resumen: Escribe un nombre claro. Ejemplo: “Ajuste de bornes por sobre temperatura en motor 5 HP”
- Tipo de trabajo: Elige Correctivo o Preventivo.
- Prioridad: Baja, Media, Alta o Urgente.
- Fecha límite: Define cuándo debe completarse.
- Descripción: Explica el diagnóstico y las acciones a realizar. Ejemplo:

“Se detectó temperatura de 72 °C en bornes. Se requiere ajuste y limpieza para evitar falla por resistencia de contacto.”

4. Asignar responsable: En la sección de Recursos Humanos, selecciona al técnico que ejecutará la tarea (máximo 2 usuarios en versión gratuita).

5. Añadir subtareas (opcional): En la pestaña Checklist/Subtareas, presiona “+” para agregar pasos específicos. Ejemplo:

- “Bloquear y etiquetar fuente de energía”
- “Verificar torque de bornes”
- “Limpiar contactos y registrar evidencia”
- “Realizar prueba de funcionamiento”

6. Guardar la OT: Presiona “Guardar” para registrar la orden.

## ASIGNAR RECURSOS A UNA ORDEN DE TRABAJO (OT)

Antes de asignar recursos debes ir a recursos> equipos; posterior habilitar los recursos que utilizaras. En los recursos humanos hacer lo mismo, ir a Recursos Humanos y habilitar a las personas que realizaran los trabajos de mantenimiento.

1. Ingresar al módulo de Órdenes de Trabajo: Desde el menú principal, ve a Tareas > Órdenes de Trabajo.

2. Crear o abrir una OT

- Si vas a crear una nueva, presiona el botón “+” en la parte inferior derecha.
- Si ya tienes una OT creada, haz clic sobre ella para editarla.

3. Asignar Recursos Humanos

- Dentro de la OT, busca la sección “Recursos Humanos” o “Personal asignado”.
- Presiona el botón “+” o el campo desplegable.
- Selecciona al técnico responsable de ejecutar la tarea.
  - *Nota:* En la versión gratuita puedes asignar hasta 2 usuarios registrados.
- Guarda los cambios.

4. Asignar Herramientas

- Busca la sección “Herramientas” dentro de la OT en la opción Filtrar que se encuentra en la parte superior derecha.
- Presiona “+” para añadir herramientas necesarias.
- Selecciona desde el catálogo (si ya están registradas) o escribe el nombre.
  - Ejemplo: “Cámara termográfica”, “Megóhmetro”, “Llave dinamométrica”.
- Guarda los cambios.

#### 5. Asignar Repuestos y Suministros

- Ve a la sección “Repuestos y Suministros”.
- Presiona “+” para añadir materiales.
- Selecciona desde el catálogo o escribe el nombre del repuesto.
  - Ejemplo: “Bornes de cobre”, “Lubricante dieléctrico”, “Filtro armónico”.
- Guarda los cambios.

#### 6. Confirmar y guardar la OT

- Revisa que todos los recursos estén correctamente asignados.
- Presiona “Guardar” para registrar la orden con los recursos vinculados.

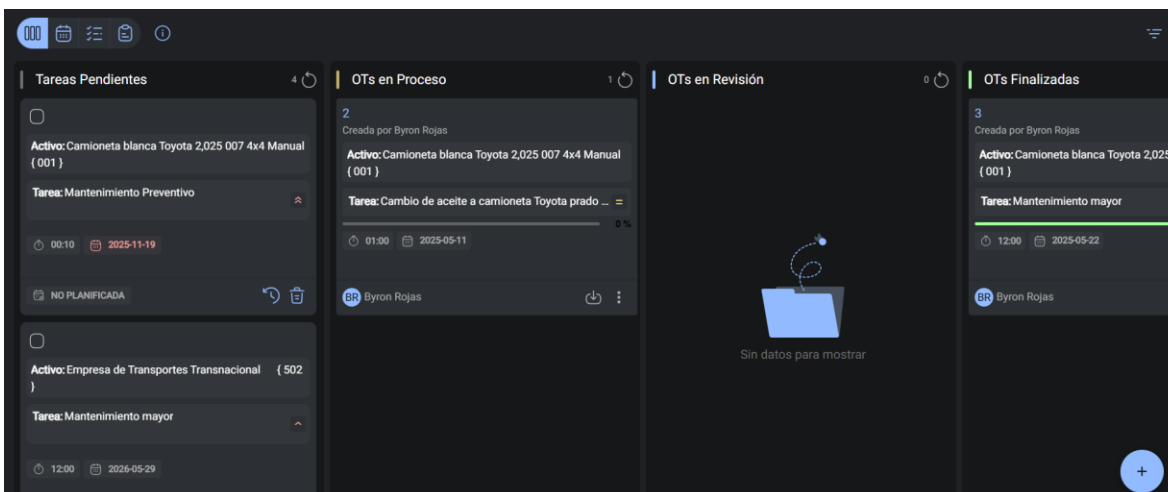
#### 7. Dar seguimiento

- El técnico asignado puede cambiar el estado de la OT:
  - Asignada → En progreso → Completada
- Puede registrar tiempos, materiales usados y hallazgos.

El supervisor revisa y cierra la OT para dejar el registro histórico

Procedimiento paso a paso para generar un reporte en Fractal (versión gratuita)

1. Ingresar al módulo correspondiente (Tareas o Órdenes de Trabajo).
2. Seleccionar el registro que quieres reportar (ejemplo: una OT ya creada).
3. Abrir el menú de opciones (ícono de tres puntos en la parte superior derecha).
4. Elegir “Exportar” o “Generar PDF”.
5. Guardar el archivo PDF en tu dispositivo.
6. Compartir o imprimir el reporte según lo necesites.



## HOJA DE TRABAJO 4

Considere de nuevo el caso de una empresa que se dedica a la distribución de productos varios no perecederos. La empresa cuenta con 2 montacargas pequeños en el almacén, 5 camiones pequeños para distribución y 1 embaladora.

		
Camión pequeño para distribución	Montacargas pequeño	Embaladora

Utilizando Fracttal One, realice lo siguiente, suponga o investigue toda la información necesaria:

1. Ingrese cada equipo a la base de datos.
2. Ingrese las herramientas que utilizara, al menos 5 herramientas o equipos para cada caso (5 para camiones, 5 para montacargas, 5 para embaladora).
3. Ingrese al personal de mantenimiento, este consistirá en 1 supervisor y 3 técnicos.
4. Genere una orden de mantenimiento correctivo para cada uno de los equipos.
5. Genere un plan de mantenimiento preventivo, con al menos tres de los cinco tipos de mantenimiento preventivo, para cada uno de los equipos.

Utilice las fichas técnicas de las siguientes páginas como referencia.

## Ficha técnica del camión repartidor

Precio leasing (USD)	Doble cabina con caja

### Descripción

Categoría	Camiones livianos
Usos	Empresas constructoras, intendencias, transporte de personal y carga gral.

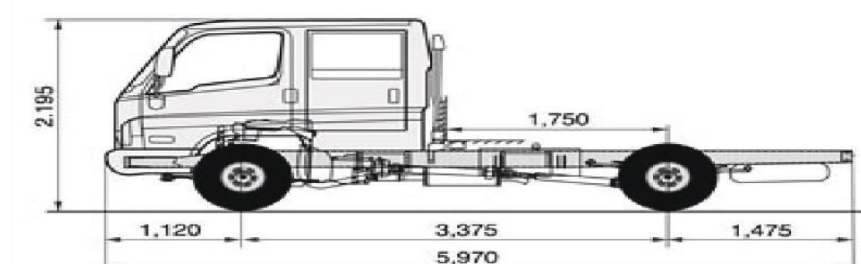
### Performance y seguridad

Motor	Hyundai D4AL
Cilindros	4 cilindros en línea, 3.298 cc
Potencia máxima (HP/RPM)	120/3400
Transmision (tipo)	Hyundai
Velocidades	5 velocidades sincronizadas + 1 reversa
Suspensión delantera	Ballestas semielípticas
Suspensión trasera	Ballestas semielípticas

### Frenos

De servicio	Hidráulico servo asistido
Auxiliar	Freno de escape
Asistente de frenada	ABS

### Dimensiones



## Capacidad de carga (kg)

Peso bruto vehicular (PBV)	4.900
PBV eje delantero	1.800
PBV eje trasero	3.100
Tara	2.360
Eje delantero	1.340
Eje trasero	1020
Capacidad de carga estimada	2.540
Eje delantero	460
Eje trasero	2.080

## Equipamiento

Aire acondicionado	√
Reloj Digital	√
Panel imitación madera	√
Faros camineros	√
Radio	√

## Neumáticos y llantas

Neumáticos	6.50 R16 LT
Llantas	Acero 16"



facebook.com/hyundai.camiones.uruguay  
 instagram.com/hyundaicamionesuy  
<https://www.linkedin.com/company/hyundai-camiones-buses/>

Hyundai Fidocar S.A.

hyundaicamiones.com.uy - info@hyundaicamiones.com.uy

Copyright © 2020. Hyundai Fidocar S.A. All Rights Reserved. Imágenes meramente ilustrativas.



## FICHA TÉCNICA: GP25NM



Foto referencial

### DESCRIPCIÓN

Montacargas Dual gas/gasolina, de 5,000 libras (2.3 ton.) de capacidad de carga nominal a 600mm del centro de carga, 2.5 ton de capacidad de carga nominal a 500mm del centro de carga.

<b>Modelo</b>	GP25NM
<b>Marca</b>	Caterpillar

### CONFIGURACIÓN

Mástil Triple
Horquillas
Desplazador lateral de horquillas (Sideshifter)
Respaldar de carga.
3 válvulas hidráulicas con palancas.
Cilindros de inclinación de 9° hacia adelante/ 6° atrás.
Guarda (Techo) protector para el operador.
Display Premium LCD/LED. Pedales separados de freno y avance.
Radiador de aleta corrugada con núcleo de aluminio.
Sistema de detección de presencia del operador (PDS). Alarma electrónica de retroceso.
Combinación de luces led posterior de parada/peligro/retroceso.
Luz led posterior de trabajo. 2 luces led de trabajo delanteras. Luces led direccionales.
Luz estroboscópica ámbar. 2 espejos laterales panorámicos.
Asiento de full suspensión, con correa color naranja. Tanque de gas de 43.5 libras (19.7kl) con soporte horizontal.
Manual de operación y mantenimiento opcional: Manual de partes de motor y manual de partes del chasis.

### CAPACIDAD DE CARGA RESIDUAL

4,775mm de altura de horquillas, con sideshifter, llantas semisólidas y a 600 mm del centro de carga = 2,040 kilos.

### **DIMENSIONES Y PESO**

Largo sin horquillas	2,550 mm
Ancho	1,150 mm
Alto hasta la protección superior de cabina operador	2,105 mm
Mástil triple con altura máxima de horquillas	4,775 mm
Altura de mástil retraído	2,146 mm
Altura libre de horquillas	9140 mm
Horquillas	1.6" X 3.9" X 48"
Sideshifter -Ancho	39.5"
Respaldo de carga – Alto	48"
Llantas semisólidas delanteras	7" x 12"
Llantas semisólidas posteriores	6" x 9"
Peso vacío	3,620 kilos
Radio de giro mínimo	2,230 mm
Pasillo mínimo para trabajo en ángulo de 90°, sin carga, sin horquillas y sin espacio libre = 2,685 mm	
Pasillo mínimo para trabajo con ángulo de 90°, con horquillas y con espacio mínimo libre : 2,685 mm + 1,219 mm + 200 mm = 4,104 mm	

### **CARACTERÍSTICAS**

COMFORT	RENDIMIENTO
Columna de dirección inclinable.	Motor, marca Nissan, modelo Motor GK21, 46 HP a 2,200 rpm. 4 cilindros, 2.1L
Barra de agarre alargada.	Transmisión automática Powershift. Modelo aprobado U.L.
Paso abierto con placa antideslizante	Enfriador de aceite de la transmisión.
Control de dirección electrónico.	La transmisión regresa a punto neutro para el arranque.

**Ficha técnica de la embaladora**  
**PALETIZADORA**  
**ENVOLVEDORA AUTOMÁTICA DE PALLETS CON MÓDULO DE**  
**PREESTIRAMIENTO**  
**MODELO WP1**



Máquina compacta para trabajo pesado, caja de control eléctrico totalmente hermética

Adjunto video de operación.

El color de la maquina puede variar.

**Especificaciones Técnicas**

- |  |                    |
|--|--------------------|
| • Peso máximo de utilización                           | 2000 Kg.           |
| • Altura máxima de la carga incluyendo las estibas     | 1.500mm.           |
| • Altura de la torre                                   | 2.000mm            |
| • Velocidad Mesa giratoria                             | 0-12 rpm.          |
| • Diámetro del disco giratorio                         | 1500mm             |
| • Altura del disco                                     | 80mm.-90 mm        |
| • Acceso mediante rampa(opcional)                      |                    |
| • Energía Eléctrica                                    | 3 fases 110 V/60hz |
| • El plato giratorio siempre para en la misma posición |                    |
| • Altura de carga controlada por foto sensor           |                    |

- Dispensador de film efectivo y estable
- Peso máximo de bobina 18 kg
- Diámetro del mandril del Film 50-75 mm
- Velocidad de la mesa giratoria y del desplazamiento del film regulables
- Arranque y parada suave
- Si el film se revienta, simplemente se presiona un botón de parada y luego el ciclo se reinicia en la misma posición
- El número de vueltas en la parte superior e inferior puede controlarse desde el PLC
- Con solo pulsar un botón, la máquina queda neutra para cualquier operación
- PLC para control de operación
- Componentes electrónicos YASKAWA- OMRON
- Rendimiento aproximado entre 30-40 Pallets hora.
- Rodamiento de plato con cadena y piñón.
- Carro de preestirado motorizado, lo cual proporciona maniobrabilidad y exactitud en el preestirado del stretch.



Selector  
Preestirado  
Graduable  
Milimetricamente

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bergero, H., Tenaris & Tenaris (Firma comercial). (2008). *El mantenimiento en Tenaris*. Amsterdam University Press.
2. Garrido, S. G. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Díaz de Santos.
3. Medrano, J., González, V. & León, D. V. de. (2021). *Mantenimiento. Técnicas y aplicaciones industriales* (1.<sup>a</sup> ed.). Grupo Editorial Patria.
4. Tavares, L. A. (2000). *Administración moderna del mantenimiento* (1.<sup>a</sup> ed.). Novo Polo.