

**PROPUESTA DE [MG1]MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO A
VARIADORES DE FRECUENCIA**

RAFAEL ALBERTO SANTANA SALVADOR

**UNIVERSIDAD ECCI [MG2]
DIRECCIÓN DE POSGRADOS
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BOGOTÁ, D.C.
AÑO 2016**

**PROPUESTA [MG3] DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO A
VARIADORES DE FRECUENCIA**

RAFAEL ALBERTO SANTANA SALVADOR

*Monografía de grado presentada como requisito para optar por el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento.*

**DRA. MARIA [MG4] GABRIELA MAGO RAMOS
DIRECTORA DEL PROYECTO**

**UNIVERSIDAD ECCI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS [MG5]
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BOGOTÁ, D.C.
AÑO 2016**

NOTA DE ACEPTACIÓN.

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO.

FIRMA DEL JURADO.

BOGOTÁ D.C., DICIEMBRE DE 2016

ACTA DE OPCIÓN DE GRADO

CESIÓN DE DERECHOS

DEDICATORIA.

Primeramente, dedicado a Dios, quien es la fuente original de sabiduría. A mis padres, que han estado presentes siempre, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Dios, por su incondicional amor; a mis padres, por todo su apoyo moral y económico, y a todos aquellos (docentes, compañeros, amigos) que contribuyeron para la culminación exitosa de esta especialización.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA	DE
TABLAS.....	10
LISTA	DE
FIGURAS.....	11
INTRODUCCIÓN.....	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
1. TÍTULO	16
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	17
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
3.1. OBJETIVO GENERAL	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
4.1. JUSTIFICACIÓN	19
4.2. DELIMITACIÓN.....	19
4.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	19
4.2.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	19
4.2.3. DELIMITACIÓN DE CONTENIDO.....	20
5. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN	21
5.1. MARCO TEÓRICO.....	21
5.1.1. VARIADORES DE FRECUENCIA	21
5.1.1.1 ¿QUÉ ES UN VARIADOR DE FRECUENCIA?	21
5.1.1.2. VENTAJAS DE UN VARIADOR ELECTRÓNICO	21
5.1.1.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA.....	21

5.1.1.4. COMPONENTES DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA.....	23
5.1.2. ARRANCADORES SUAVES.....	23
5.1.2.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	25
5.1.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	25
5.1.4. MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	26
5.1.5. MANTENIMIENTO PREDICTIVO	26
5.1.6. MANTENIMIENTO PROACTIVO	27
5.1.7. RCM	27
5.1.8. LAS SIETE PREGUNTAS DE RCM.....	28
5.1.9. DIAGRAMA Y PLANILLA DE INFORMACIÓN / DECISIONES.....	28
5.1.10. CONFIABILIDAD HUMANA	30
5.2. ESTADO DEL ARTE.....	31
5.2.1. REFERENCIAS LOCALES.....	31
5.2.2. REFERENCIAS NACIONALES.....	32
5.2.3. REFERENCIAS INTERNACIONALES.....	33
6. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	34
7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	35
7.1. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	35
7.1.1. ABB ACS800.....	35
7.1.2. WEG CFW11.....	44
7.2. ANÁLISIS DE DATOS.....	52
7.3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	58
7.3.1. AMEF (ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA.....	83
7.3.2. PLANILLA DE DECISIÓN.....	84
7.3.3. REFORMING.....	84
8. FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN	87
8.1. FUENTES PRIMARIAS.....	87
8.2. FUENTES SECUNDARIAS.....	87
9. ANÁLISIS FINANCIERO.....	88
10. TALENTO HUMANO	91

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
12. BIBLIOGRAFÍA	93

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Tipo de investigación.....	34	PÁG. de
Tabla 2. Mensajes de alarma generados por el convertidor.....	35	
Tabla 3. Mensajes de fallo generados por el convertidor.....	39	
Tabla 4. Fallas, Alarmas y sus posibles causas.....	44	
Tabla 5. Solución de los problemas más frecuentes.....	50	
Tabla 6. Comparación de fallas comunes en los convertidores ABB (ACS800) y WEG (CFW 11).....	52	
Tabla 7. Consecuencias y tipo de consecuencias.....	56	
Tabla 8. Hoja de información propuesta para variadores de frecuencia.....	59	
Tabla 9. Cálculo del ROI.....	90	

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Circuito de potencia de un variador de frecuencia.....	22
Figura 2. Esquema de circuito principal de arrancador suave y la tensión de salida al motor.....	24
Figura 3. Comportamiento de la corriente en arrancadores suaves, arranque estrella triángulo y arranque directo.....	25
Figura 4. Ejemplo de planilla de información RCM.....	28
Figura 5. Planilla de decisión RCM.....	29
Figura 6. Diagrama de decisión RCM.....	29
Figura 7. Rutina de mantenimiento para CFW11 WEG.....	65
Figura 8. Inspecciones periódicas semestrales.....	66
Figura 9. Rutinas de mantenimiento para variadores de frecuencia ABB ACS800.....	67
Figura 10. Diagrama de decisiones propuesto para modo de falla 1A1	68
Figura 11. Diagrama de decisiones propuesta para modo de falla 1A2.....	68
Figura 12. Diagrama de decisiones propuesto para el modo de falla 1A3/1B1/1C2...69	
Figura 13. Diagrama de decisiones propuesto para el modo de fallo 1A4.....	69
Figura 14. Diagrama de decisiones de modo de fallo 2A1.....	70
Figura 15. Diagrama de decisiones de modo de fallo 2A2.....	70
Figura 16. Diagrama de decisiones de modo de fallo 2A3.....	71
Figura 17. Diagrama de decisiones de modo de fallo 2A4.....	71
Figura 18. Diagrama de decisiones de modo de falla: a.) 2A5 y b.) 2A6.....	72
Figura 19. Diagrama de decisiones de modo de falla 2A7.....	72

Figura 20.	Diagrama de decisiones de modo de falla 3A1.....	73
Figura 21.	Diagrama de decisión de modo de falla 3B1.....	73
Figura 22.	Diagrama de decisión de modo de falla a). 3B2 y b). 3B3.....	74
Figura 23.	Diagrama de decisión de modo de falla 3B4.....	75
Figura 24.	Diagrama de decisión de modo de falla 4A1.....	75
Figura 25.	Diagrama de decisión de modo de falla 4A2.....	76
Figura 26.	Diagrama de decisión de modo de falla 4A3.....	76
Figura 27.	Diagrama de decisión de modo de falla 4D1.....	77
Figura 28.	Diagrama de decisión de modo de falla 4D2.....	77
Figura 29.	Diagrama de decisión de modo de falla 5A1.....	78
Figura 30.	Diagrama de decisión de modo de falla 5A2.....	78
Figura 31.	Diagrama de decisión de modo de falla 5B1.....	79
Figura 32.	Diagrama de decisión de modo de falla 5C1.....	79
Figura 33.	Diagrama de decisión de modo de falla 5C2.....	80
Figura 34.	Diagrama de decisión de modo de falla 6A1.....	81
Figura 35.	Diagrama de decisión de modo de falla 6A2.....	81
Figura 36.	Diagrama de decisión de modo de falla 6A3.....	82

Figura 37. Formato de diagrama de decisión.....	82
Figura 38. Tiempo para el 'reforming' de condensadores electrolíticos dependiendo del tiempo de almacenamiento del equipo.....	85
Figura 39. Método 2A, para 'reforming'.....	85
Figura 40. Método 2B, para 'reforming'.....	86
Figura 41. Tabla de componentes recomendados para circuito en método 2A.....	86

INTRODUCCIÓN.

En los últimos años, la evolución del mantenimiento ha sido constante. Todos los sistemas, máquinas, procesos y procedimientos requieren de mantenimiento, ya que tienen un origen, un desarrollo de funcionalidad y un periodo de etapa final. Mientras se encuentren en su periodo de desarrollo de funcionalidad y hasta su periodo final debe garantizarse que estén disponibles, que sean confiables y que sea viable el mantenimiento del ciclo de vida.

Con el transcurrir del tiempo, los avances tecnológicos han avanzado en diferentes campos como la industria. Las diferentes disciplinas son diversas, sin embargo, tienen un aspecto en común: Las máquinas. Las cuales son el corazón de ésta. Los motores eléctricos son el motor de la industria. Asimismo como son diversos las disciplinas de la industria, las aplicaciones de los motores eléctricos también lo son, de la misma forma son los métodos de control y arranque.

Los variadores de frecuencia son la solución más eficiente para el arranque y control de motores eléctricos. Son equipos que tienen un ciclo de vida, desde el origen hasta el final. Por lo tanto es necesario desarrollar una gestión de mantenimiento. Al ser equipos que requieren estar disponibles y ser confiables, se considera que el mantenimiento centrado en confiabilidad propone herramientas y técnicas muy interesantes para el desarrollo de la gestión de mantenimiento.

RESUMEN.

TÍTULO:

PROPUESTA [MG6] DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO A VARIADORES DE FRECUENCIA.

AUTOR:

RAFAEL ALBERTO SANTANA SALVADOR.

PALABRAS CLAVES:

Variador de frecuencia, mantenimiento, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, mantenimiento predictivo, confiabilidad, planilla de decisión, planilla de información, ABB, WEG.

CONTENIDO:

Este documento contiene un análisis detallado de RCM con sus respectivos productos: hoja de decisión, hoja de información, AMEF, para variadores de frecuencia ABB y WEG, con sus respectivas tareas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.

ABSTRACT.

TITLE:

PROPOSAL FOR PREVENTIVE AND CORRECTIVE MAINTENANCE TO VARIABLE FREQUENCY DRIVES.

AUTHOR:

RAFAEL ALBERTO SANTANA SALVADOR.

KEYWORDS:

Variable Frequency Drive, maintenance, preventive maintenance, corrective maintenance, predictive maintenance, reliability, decision sheet, information sheet, ABB, WEG.

CONTENT:

This document contains a RCM detailed analysis with its respective products like decision sheet, information sheet, AMEF, to ABB and WEG Variable Frequency Drives, with its respective predictive, preventive and corrective maintenance routines.

1. TÍTULO.

**[MG7] PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO A
VARIADORES DE FRECUENCIA.**

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los variadores de frecuencia tienen un papel fundamental en el funcionamiento de diferentes máquinas y procesos. Los usuarios de estos equipos normalmente recurren a compañías especializadas en mantenimiento de los mismos, otros los intervienen, pero de una manera inadecuada, y en algunos casos, no existe ninguna intervención de mantenimiento, pues consideran que por ser un equipo electrónico, estas no son necesarias. Como consecuencia, la confiabilidad de los variadores de frecuencia disminuye considerablemente, y consecuentemente afecta el resto de procesos, bien sea en una máquina industrial, en bombas y/o ventiladores, entre otros ejemplos. Algunas empresas que dicen ser especializadas en el tema, o usuarios finales, tienen debilidades, en algunos casos por falta de capacitación, fallas humanas, omisión de las técnicas y herramientas que proveen sus procedimientos, omisión de otras herramientas informativas como manuales de usuario, y/o de parámetros, falta de planeación que derivan[MG8] de las actividades del servicio o de rutina.

Si la calidad en la prestación de este servicio es alta, la confiabilidad de los equipos y máquinas de usuarios finales también será alta.

[MG9]En ese orden de ideas se desarrolla un proyecto de investigación que servirá como propuesta para mejorar los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo que requieren estos equipos, aumentando la confiabilidad y calidad de servicio.

2.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Contribuirá la propuesta DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO A VARIADORES DE FRECUENCIA al[MG10] mejoramiento de la calidad y confiabilidad de servicios y rutinas de mantenimiento?

2.3. SISTEMATIZACIÓN.

- 2.3.1. ¿Cuáles son las condiciones de falla de un variador de frecuencia?
- 2.3.2. ¿Qué métodos de análisis se utilizará para determinar las condiciones de falla?
- 2.3.3. ¿Es posible proponer tareas de mantenimiento predictivo para incluirla dentro de las acciones operatorias?

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1. OBJETIVO GENERAL^[MG11].

Proponer mantenimiento preventivo y correctivo a variadores de frecuencia con la finalidad de mejorar los procedimientos de mantenimiento, que aumenten la calidad y confiabilidad de servicio y funcionamiento.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS^[MG12].

- 3.2.1. Evaluar las condiciones de falla que presentan estos equipos realizando AMEF y diagrama de decisiones, para proponer a usuarios finales y empresas prestadoras de servicios.
- 3.2.2. Analizar las^[MG13] tareas y/o actividades en el mantenimiento preventivo y correctivo^[MG14] que requieren los variadores de frecuencia y arrancadores suaves para mejorar las actividades de mantenimiento de acuerdo a los niveles requeridos.
- 3.2.3. Proponer el diagnóstico de actividades de mantenimiento predictivo como una tarea adicional a fin de mejorar la recurrencia de fallas y los diagnósticos relacionados.

4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN.

4.1. JUSTIFICACIÓN

La finalidad de esta propuesta es optimizar la calidad de los servicios de mantenimiento preventivo y correctivo de variadores de frecuencia por empresas del ramo, y concientizar a algunas empresas que sean usuarias de estos equipos. Los variadores de frecuencia son fundamentales en el desarrollo de los procesos productivos de las compañías que demandan este servicio, se encuentran, por ejemplo, para el control de un motor principal de un molino, o una extrusora. Hoy por hoy, el variador de frecuencia de corriente alterna, es la solución más acertada para el control de motores eléctricos, los cuales son el 'corazón' de las máquinas. El arrancador suave es también una solución, ya que es el método más eficiente para el arranque de motores eléctricos debido al sustancial ahorro de energía y protección eléctrica y mecánica de las máquinas, alargando su vida útil.

En algunas empresas, en el área de mantenimiento, por diversas razones, se permite que sus variadores de frecuencia fallen, se podría decir que los impactos que acarrearán estas fallas se clasificarían desde 'leves' hasta 'muy graves'. Posiblemente no contemplan dentro de sus planes de mantenimiento actividades especializadas para un variador de frecuencia, y hacen contratación de proveedores o socios estratégicos. Las compañías proveedoras de esta clase de servicios deben presentar resultados de alta calidad y adoptar técnicas y herramientas que le permitan optimizar sus procedimientos internos. Dichos procedimientos deben estar estandarizados, sobre la base del conocimiento, no solamente por experiencias.

Por esta razón se presenta esta propuesta como una alternativa de mejoramiento y redefinición de las actividades de mantenimiento por parte de empresas especializadas y usuarios de estos equipos, y como resultado de una posible implementación se podría alcanzar mejores niveles de calidad y confiabilidad.

4.2. DELIMITACIÓN [MG15]

4.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.

Este proyecto será desarrollado en la ciudad de Bogotá D.C.

4.2.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL.

Se plantea un tiempo de ejecución entre seis y ocho semanas para el desarrollo de este proyecto [MG16], iniciando en el mes de Octubre de 2016, y finalizando en Diciembre del mismo año.

4.2.3. DELIMITACIÓN DE CONTENIDO.

Se determinará como objeto de estudio el documento PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE VARIADORES DE FRECUENCIA. Se analizarán las funciones de los variadores de frecuencia de fabricantes ABB ACS800 y WEG CFW11. También se plantearán los modos de falla y las tareas a partir de la información de estas compañías. [MG17]

5. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN. [MG18]

5.1. MARCO TEÓRICO

5.1.1. Variadores de frecuencia.

5.1.1.1. ¿Qué es un variador de frecuencia?

“Un variador (convertidor) de frecuencia es un aparato destinado a modificar la frecuencia y, por tanto, la velocidad, de un motor de inducción asíncrono; es decir, que genera una corriente alterna con la frecuencia y la tensión necesaria para accionar dicho motor de corriente alterna. El convertidor de frecuencia permite modificar el valor de la frecuencia para hacer que el motor gire a más o menos velocidad, independientemente de la frecuencia de que disponga la red de alimentación.

Actualmente esto se consigue con procedimiento electrónicos, pero no se puede omitir ni olvidar los procedimientos que se utilizaban anteriormente a la aparición de los convertidores de frecuencia electrónicos, incluso servirán como base para comprender mejor éstos.”

5.1.1.2. Ventajas de un variador electrónico.

- “Ahorro energético; consume sólo lo que necesita en cada momento.”
- “Se puede instalar en máquinas que estén funcionando sin él y no se tienen que modificar sus partes.”
- “Pueden ser controlado a distancia y con cualquier sistema automático.”
- “Se pueden conectar varios motores en paralelo”.
- Los motores que se pueden utilizar son estándares.
- No precisa contactor para su maniobra y si se quiere invertir el sentido de giro tampoco precisa un inversor exterior.
- Se puede conseguir una velocidad constante cualquiera que sea la carga.

5.1.1.3. Principio de funcionamiento de los variadores de frecuencia.

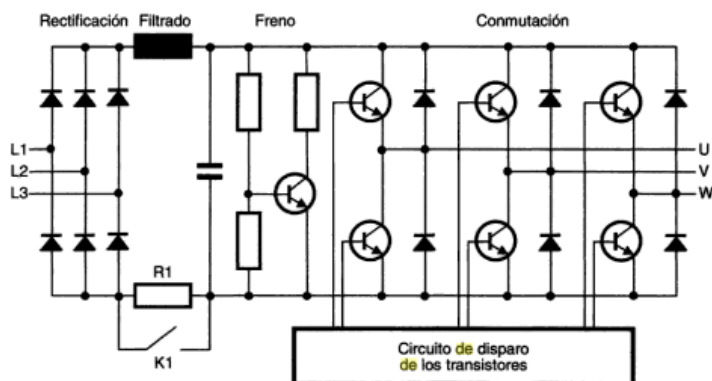
“La red suministra corriente alterna a 50/60 Hz, frecuencia industrial. En una primera etapa, pasa a un rectificador donde se convierte en corriente continua. Estos rectificadores pueden ser controlados o no por

tiristores, pasando posteriormente a un filtro, de tal manera que la salida sea lineal; no obstante, antes del filtrado, se dispone de una resistencia R1 en paralelo con un contactor K1.

Al conectar el equipo a tensión, como quiera que los condensadores del filtro están descargados, comienzan a cargarse. En ese instante la intensidad es muy elevada; por ello, circulará por la resistencia R1.

Al disminuir la corriente de carga, por estar cargados los condensadores, el relé K1 se activa y cierra el contacto que está en paralelo con la resistencia R1. A partir de ese momento, circulará la corriente del equipo por este contacto. El relé K1 permanecerá activado en tanto esté con tensión el convertidor. Esta tensión continua, rectificadora y filtrada, pasa a la etapa de conmutación desde donde se convierte en corriente alterna, pero esta vez controlada por el circuito de disparo de los transistores o IGBT PWM, es decir, no a 60 Hz sino a la que previamente se determine dentro del margen entre 0 y 600 Hz". [1], [2].

Figura 1. Circuito de potencia de un variador de frecuencia.



Fuente: Convertidores de frecuencia, controladores de motores Y SSR. Manuel Álvarez Pulido.

Debemos entender que la función básica de un variador de frecuencia es controlar el flujo de energía desde la red hasta el proceso. La energía es suplida al proceso a través del eje del motor. Dos cantidades físicas describen el estado del eje: torque y velocidad. Para controlar el flujo de energía, debemos por lo tanto, últimamente, controlar estas cantidades. [2]

5.1.1.4. Componentes de un variador de frecuencia.

Un variador de frecuencia se compone por dos circuitos principales de potencia y un circuito de control. Los circuitos de potencia son un rectificador y un inversor. El rectificador está compuesto por un puente de diodos o tiristores que hacen convertir la corriente alterna en continua y un inversor construido por IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor), como anteriormente se describió. El variador de frecuencia recibe señales de sensores de efecto hall [3], los cuales miden la corriente de las fases de salida. El circuito de control está compuesto de memoria EEPROM, moduladores, controladores de frecuencia y fototransistores/opto acopladores, relés configurables, microcontroladores.

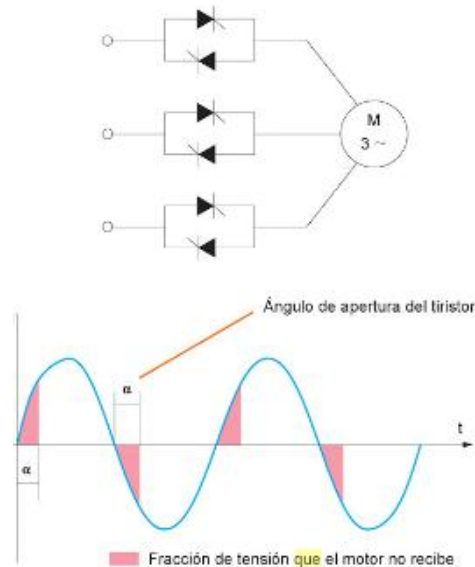
También hay una fuente de alimentación para el control, en algunos variadores está dentro de la tarjeta de potencia o interfaz, o a parte. Los circuitos de control son aislados de los circuitos de potencia por medio de una tarjeta interfaz. También hay un circuito encargado del control de los disparos de la compuerta del IGBT.

El variador de frecuencia monitorea y tiene funciones de protección conocidas como fallos o errores, los cuales son accionados cuando se detecta alguna condición que afecte el correcto funcionamiento del mismo. Uno de los fallos más comunes es fallo por temperatura excesiva, la cual es accionada a causa de termistores o termostatos. Los ventiladores también hacen parte del control de temperatura del variador, los cuales son controlados dependiendo de la temperatura del circuito inversor.

5.1.2. Arrancadores suaves.

Los métodos electromecánicos de arranque de motores eléctricos han sido reemplazados por arrancadores electrónicos, conocidos como arrancadores suaves, compuestos por elementos en estado sólido. Con los arranques electrónicos se obtiene un importante aumento de vida útil de las partes mecánicas involucradas, y así se ahorran repuestos y tiempos de parada de mantenimiento preventivo. Se ejerce un control de ángulo de fase, por medio de un microprocesador. Se entrega una tensión reducida, por consiguiente, el torque en el eje del motor disminuye en forma cuadrática, la corriente se mantiene aproximadamente lineal a la tensión y el motor arranca suavemente.

Figura 2. Esquema de circuito principal de arrancador suave y la tensión de salida al motor.



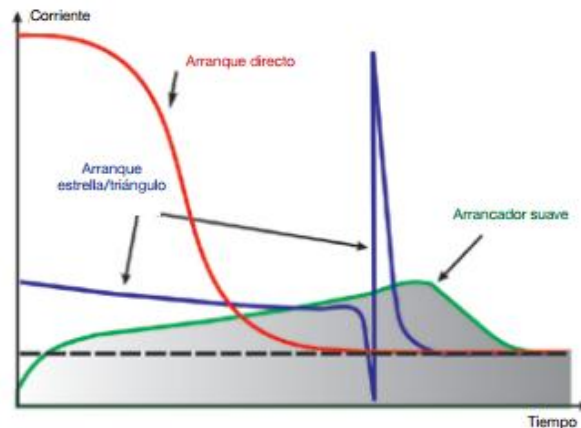
Fuente: [3]. Automatismos Industriales, Julián Rodríguez Fernández, Luis Miguel Cerdá Filiu, Roberto Bezos Sánchez-Horneros.

Es recomendable el uso de contactores de by-pass al arrancar motores de altas potencias.

Los arrancadores electrónicos ofrecen las siguientes ventajas [4]:

- Selección de parada suave.
- Vigilancia en el arranque con límite de corriente.
- Instalación más simple que un arrancador electromecánico.
- Protegen el motor, reduciendo el torque de arranque.
- Disminución del consumo de corriente.
- Minimiza los golpes de ariete en aplicaciones de bombas, que son aumentos de presión en las tuberías debido a una súbita alteración del flujo.

Figura 3. Comportamiento de la corriente en arrancadores suaves, arranque estrella triángulo y arranque directo.



Fuente: [5] WEG. (2014) “Catálogo Automatización Arrancadores Suaves”.

5.1.2.1. Principio de funcionamiento.

El arrancador suave contiene tres pares de tiristores conectados en contraparalelo, al variar el ángulo de disparo, la tensión aplicada cambia.

[3]

5.1.3. Mantenimiento preventivo.

“Esta forma de mantenimiento surge debido a la necesidad de remediar los inconvenientes del mantenimiento correctivo. A diferencia de este, la sustitución de piezas o partes del sistema que pudieran causar averías se realiza con una cierta periodicidad, denominada mediante criterios estadísticos. Así la sustitución de un determinado elemento puede realizarse después de cierto tiempo pre programado, o al producirse una avería, si ésta ocurre antes.

El mantenimiento preventivo habitualmente comprende una serie de actividades características:

- Limpieza y revisiones periódicas.
- Conservación de equipos y protección.
- Control de la lubricación.

- Reparación y recambio de los puntos del sistema identificados como puntos débiles.
- Reparación y recambios planificados” [6].

5.1.4. Mantenimiento correctivo.

“El mantenimiento correctivo es el modelo de mantenimiento más común en la pequeña y mediana empresa y aunque es el que tradicionalmente se ha venido empleando, impera desde hace algún tiempo la introducción de programas de mantenimiento preventivo cuyos resultados a largo plazo son mucho más eficaces. El mantenimiento correctivo se basa en la intervención en el caso de la avería, manifestado como el colapso de un equipo o instalación, es decir. La interrupción súbita de la producción. Dentro del mantenimiento correctivo se pueden distinguir dos variedades:

Mantenimiento correctivo con eliminación de la avería.

En este caso el mantenimiento consiste en la reparación de emergencia, efectuando la sustitución de los elementos averiados. Normalmente se realiza bajo fuertes presiones tratando de evitar caídas en la producción.

Mantenimiento correctivo con eliminación de la avería.

Este tipo de mantenimiento no sólo consiste en la sustitución de los elementos defectuosos sino en la eliminación de la causa que originó la avería. Por este motivo proporciona soluciones más duraderas así como un incremento de la disponibilidad y fiabilidad a largo plazo. Obviamente la participación de técnicos en este caso es más necesaria y el tiempo de intervención se incrementa, por este motivo suele realizarse en las paradas programadas.” [6]

5.1.5. Mantenimiento predictivo.

“El mantenimiento predictivo, también conocido como mantenimiento según estado o según condición, surge como respuesta a la necesidad de reducir costes de los métodos tradicionales –correctivo y preventivo- de mantenimiento. La idea básica de esta filosofía de mantenimiento parte del conocimiento del estado de los equipos. De esta manera es posible, por un lado, reemplazar los elementos cuando realmente no se encuentren en buenas condiciones operativas, suprimiendo las paradas por inspección innecesarias y, por otro lado, evitar las averías imprevistas, mediante la detección de cualquier anomalía funcional y el seguimiento de su posible evolución.” [6]

5.1.6. Mantenimiento proactivo.

“Esta estrategia de mantenimiento, está dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria o instalaciones. Es una metodología en la cual el diagnóstico y las tecnologías de orden predictivo son empleados para lograr aumentos significativos de la vida de los equipos y disminuir las tareas de mantenimiento, con el fin de erradicar y controlar las causas de fallas de las máquinas.” [7]

5.1.7. R.C.M.

“El mantenimiento basado en la fiabilidad (Reliability Centered Maintenance) es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo de instalación industrial, muy útil para el desarrollo u optimización de un plan de mantenimiento. La filosofía RCM plantea como criterio general, el mantenimiento prioritario de los componentes considerados como críticos para el correcto funcionamiento de la instalación, dejando operar hasta su fallo a los componentes no críticos, instante en el que se aplicaría el correspondiente mantenimiento correctivo.

Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, desde los altos costes derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

RCM se basa en analizar los fallos potenciales que puede tener una instalación, sus consecuencias y la forma de evitarlos. Desde el origen en su definición en 1978, el RCM ha sido usado para diseñar el mantenimiento y la gestión de activos en todo tipo de actividad industrial y en prácticamente todos los países industrializados del mundo. Este proceso ha sido mejorado y refinado con su uso y con el paso del tiempo. Muchas de las posteriores evoluciones de la idea original conservan los elementos clave del proceso ideado por Nowlan y Heap.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad se define como “un proceso usado para determinar lo que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios desean que haga en su contexto operacional actual”. [7]

5.1.8. Las siete preguntas de R.C.M.

“El proceso de RCM incita las siguientes siete preguntas sobre el bien o sistema bajo revisión:

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
2. ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
3. ¿Qué ocasiona cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
5. ¿De qué modo afecta cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?” [8]

5.1.9. Diagrama y planilla de información / decisiones.

La planilla de información y de decisiones se obtiene de las siete preguntas anteriormente descritas. Las primeras cuatro preguntas son plasmadas en la planilla de información, mientras que la tres últimas se desarrollan en la planilla de decisión.

Figura 4. Ejemplo de planilla de información RCM.

SISTEMA Turbina de Gas 5 MW		Sistema Nº 216-05	Facilitador: N. Smith	Fecha: 7-07-1996	Hoja Nº 1
SUBSISTEMA Sistema de Escape		Subsistema Nº 216-05-011	Auditor: P Jones	Fecha 07-08-1996	De 3
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Funcion)	MODOS DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando falla)	
1	Canalizar todo el as de la turbina de calefacción sin restricción a un punto fijo de 10 m. por encima del techo del hall de la turbina.	1	Monturas silenciadoras corroídas	Montaje del silenciador colapsa y cae al fondo de la torre. La presión trasera causa que la turbina surja violentamente y se apague a altas temperaturas de gas de escape. El tiempo de inactividad para reemplazar el silenciador.	
		1	Parte del silenciador falla por fatiga.	Dependiendo de la naturaleza del bloqueo, la temperatura de escape puede aumentar hasta apagar la turbina. El despojos podría afectar partes de la turbina. El tiempo de inactividad para reparar el silenciador es de 4 semanas.	

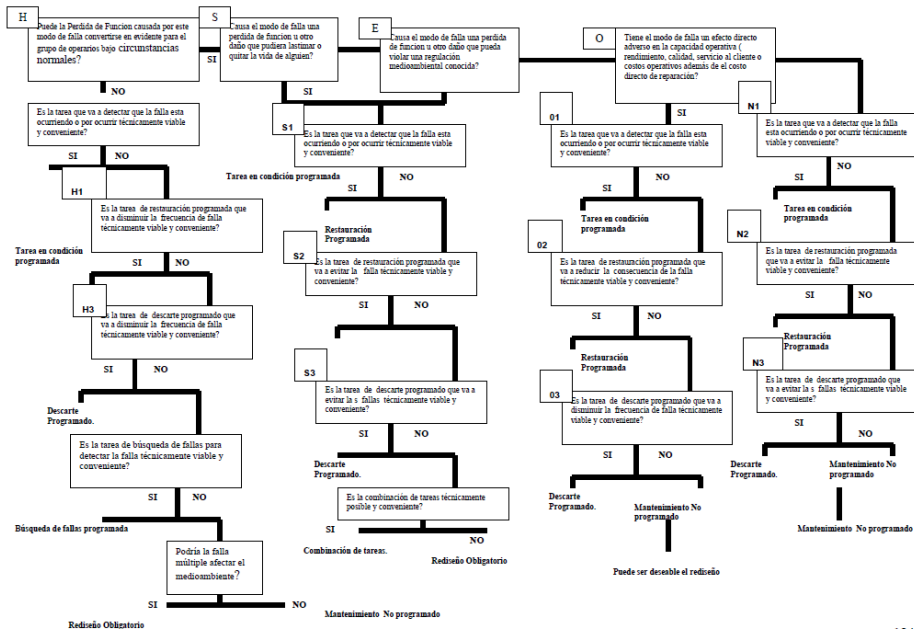
Fuente: [8] (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)

Figura 5. Planilla de decisión RCM.

Planilla de decisión RCM II										Sistema	Nº de sist.	Facilitador:	Fecha	Nº de hoja	
										Sub- Sistema	Nº de sub. sist.	Auditor:	Fecha	De	
Referencia De informacion			Consecuencia de la evaluacion				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Accion de Default			TAREA PROPUESTA	Intervalo Inicial	Puede ser realizado por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4				

Fuente: [8] Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, John Moubray.

Figura 6. Diagrama de decisiones RCM.



Fuente: [8] Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, John Moubray.

“Las primeras diez columnas de la hoja de decisión se relacionan en la planilla de decisión, de la siguiente manera:

- Las columnas encabezadas H, S, E, O y N se utilizan para registrar las respuestas a las preguntas correspondientes a consecuencias de los modos de falla.
- Las siguientes tres columnas (encabezadas H1, H2, H3, etc.) registra si una tarea proactiva ha sido seleccionada, y de ser así el tipo de tarea.
- Si fuera necesario responder a cualquier de las preguntas de default, se debe utilizar las columnas encabezadas H4 y H5, o S4 para registrar las respuestas.

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hubiera), la frecuencia con que se realizara esto y quien ha sido seleccionado para hacerlo. La columna “tarea propuesta” también se utiliza para registrar los casos donde se requiere el rediseño, o en que se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

Las columnas octava a la décima de la planilla de decisión se utiliza para registrar una tarea proactiva ha sido seleccionada, de la siguiente manera:

- La columna encabezada H1/S1/O1/N1 se utiliza para registrar si pudiera encontrarse una tarea en condición apropiada para anticipar el modo de falla, con suficiente tiempo para evitar, eliminar o minimizar las consecuencias.
- La columna encabezada H2/S2/O2/N2 se utiliza para registrar si se identificó una tarea de restauración programada para prevenir las fallas.
- La columna encabezada H3/S3/O3/N3 se utiliza para registrar si se encontró una tarea de descarte programado para prevenir las fallas.”[8]

5.1.10. Confiabilidad Humana.

“La confiabilidad está vinculada con el número de errores que se cometen en un tiempo igualmente determinado y, nuevamente, bajo específicas condiciones de trabajo. Existe una herramienta para trabajar la confiabilidad humana, la cual es la más utilizada y se denomina como THERP (Technique for Human Error Rate Prediction). Data de los años 1960’s. Con esta herramienta es posible predecir las probabilidades de error humano y evaluar el deterioro de un sistema individuo-máquina causado por los

errores humanos, los procedimientos, las prácticas de ejecución, así como por otras características del sistema o de la persona que influyen en el comportamiento del mismo.

El análisis de la confiabilidad humana nos arrastra a una serie de conclusiones entre que tenemos las siguientes:

- Los humanos no fallan como las máquinas, sino que cometen errores.
- Las personas no sólo son una fuente potencial de errores, sino que pueden ser un elemento de sobre-confiabilidad dado la capacidad para anticipa, predecir, analizar y actuar sobre los fallos y sus desencadenantes y sobre los propios errores.
- La confiabilidad integral necesaria de un sistema no es de quien la desea o la necesita, sino de quien la hace realidad con su actuación y previsión.” [9]

5.2. ESTADO DEL ARTE.

5.2.1. ESTADO DEL ARTE LOCAL.

En 2016, los ingenieros Karen Rico, Daniel Leal y Carlos Mejía presentaron la propuesta “Desarrollo de una propuesta para implementación de un plan de mantenimiento en equipos IMAC aplicando metodología RCM2” en la especialización de Gerencia de Mantenimiento, de la Universidad ECCI. [27]

También en 2016 los ingenieros José Isahi Garzón y Diego Lota presentaron la “Propuesta de Mantenimiento y capacitación para elevar la disponibilidad de la Flota Blu Logistics S.A. basado en la formación de los operadores” en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI. [28]

A continuación se listan otras tres monografías que hacen parte del estado del arte local:

“Propuesta de plan de mantenimiento a máquina de pruebas golpe de ariete mediante metodología RCM2”. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, UNIVERSIDAD ECCI, 2016. Autores: ING. MAYERLY MARTINEZ FEO, ING. DIEGO MANUEL MALAGON SILVA. [29]

“Sistema de gestión de activos en el mantenimiento preventivo a variadores de velocidad de 1 HP A 75 HP marca ABB para la empresa SERVELEC

LTDA”. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Universidad ECCI, 2016. AUTORES: Ing. Juan David Ardila Torres y Yulanis Mazo Benitez. [30]

“Creación de plan de mantenimiento para los tres activos de la empresa JOJMA Inyección S.A.S.” Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Universidad ECCI, 2016. AUTORES: Ing. Ethna Madeleine Amaya e Ing. Luz Marina Gómez. [31].

5.2.2. ESTADO DEL ARTE NACIONAL.

En el año 2011 las ingenieras Angélica Gómez y Liliana Jolianis de la Universidad Industrial de Santander (UIS) realizaron un plan de mantenimiento para los sistemas eléctricos titulado “Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para el Sistema eléctrico de baja tensión que suministra energía a los pozos productores pertenecientes a la Superintendencia de operaciones de Mares- Gerencia Regional del Magdalena Medio.- ECOPETROL S.A.” [3], haciendo los análisis basados en el árbol de decisiones de Moubray [8] y en las funciones de los sistemas convencionales y con variadores de frecuencia.

También, en el año 2011, los ingenieros Vladimir Escobar Ordóñez y Ronald Gallego Lambraño presentaron un modelo de gestión de mantenimiento para la planta deshidratadora del Campo La Cira, de Ecopetrol S.A. titulado “Modelo Gerencial para la gestión del mantenimiento preventivo de la planta deshidratadora La Cira perteneciente a la Superintendencia de Operaciones de Mares de la Gerencia Regional Magdalena Medio Ecopetrol S.A.” [18], donde se utiliza un análisis de los modos de falla y sus causas, con el fin de incrementar la confiabilidad de los activos de la compañía.

Los ingenieros Ruben Escandon Guzman y Cesar Zamora presentan una propuesta de solución para un diseño de una estación semiautomática de mantenimiento, titulada “Diseño de una estación semiautomática de mantenimiento, para el desmontaje de rodillos roto en la empresa Flexa”[26], en 2015, como pasantía para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Autónoma de Occidente, Cali.

En 2016, el tecnólogo Jhon Jairo Serna, luego de realizar una práctica empresarial de implementación de un plan de mantenimiento eléctrico, publica un documento titulado: “Implementación Plan de Mantenimiento Eléctrico para Destilería Riopaila y Riopaila Energía” [20], de la Facultad de tecnología de la Universidad de Pereira.

También otra referencia para el estado del arte nacional es el informe de pasantía titulado “Estudio de Causas de Falla en Variadores de Frecuencia bajo Ambientes Industriales” [22], en 2016, del ingeniero Héctor Adolfo Vélez, para la facultad de Ingeniería, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá D.C.

5.2.3. ESTADO DEL ARTE INTERNACIONAL.

En 1996, Elías Strangas, V.E. Wagner y T.D. Unruch publicaron un artículo de pruebas de variadores de velocidad en el IEEE, titulado “Variable Speed Drives evaluation test.” [25]

En 2010, el ingeniero Milágfred Montes propone un sistema de protección para variadores de frecuencia de tres campos petroleros de la empresa PDVSA, en el Estado de Anzoátegui, Venezuela, en el documento “Influencia de las descargas atmosféricas sobre el sistema eléctrico en baja tensión de los pozos asociados a los campos Bare y Arcuna pertenecientes al Departamento San Tomé, División Faja del Orinoco.” [23]

En 2013, los ingenieros Guillermo Bautista Hernández y Camilo Cano presentan su tesis “Selección de los variadores de frecuencia en el control de velocidad de motores eléctricos” [24], para la facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de la Universidad Veracruzana.

En 2015, se realizó el XXXIII Congreso Nacional de Riegos, en Valencia, España [21], Carmen Rocamora Osorio, hace referencia a la eficiencia energética, otro ejemplo de las aplicaciones de variadores de frecuencia.

En 2016, el ingeniero Cristian Aguilar Peñaloza realizó su tesis de grado titulada: “Incrementar la confiabilidad del variador de velocidad de 1500 KW del ventilador de tiro inducido de la planta de molienda Latacunga, Holcim Ecuador S.A.” [19], de la carrera de ingeniería industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, siendo un ejemplo específico de mantenimiento de variadores de frecuencia para un proceso tan importante para una de las industrias más pesadas: la industria cementera.

6. TIPO DE INVESTIGACIÓN [MG19]

[R20]TABLA 1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

TIPO DE INVESTIGACIÓN	CARACTERÍSTICAS
• Histórica	Analiza eventos del pasado y busca relacionarlos con otros del presente.
• Documental	Analiza la información escrita sobre el tema objeto de estudio.
• Descriptiva	Reseña rasgos, cualidades o atributos de la población objeto de estudio.
• Correlacional	Mide grado de relación entre variables de la población estudiada.
• Explicativa	Da razones del porqué de los fenómenos.
• Estudios de caso	Analiza una unidad específica de un universo poblacional.
• Seccional	Recoge información del objeto de estudio en oportunidad única.
• Longitudinal	Compara datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población con el propósito de evaluar cambios.
• Experimental	Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes.

FUENTE: [10] UNIVERSIDAD ECCI, (2009). "GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN"

El tipo de investigación es un estudio de caso, donde se estudia y analiza los modos y efectos de falla, utilizando las herramientas correspondientes como AMEF, diagrama de decisiones y hoja de información y decisiones.

7. DISEÑO METODOLÓGICO [MG21]

7.1. RECOLECCIÓN DE DATOS.

Los manuales de usuario y programación de los variadores de frecuencia y arrancadores suaves proveen información importante sobre las fallas y modos de falla que se pueden presentar en estos equipos. Los fabricantes ponen a disposición pública estos manuales. Se hará énfasis en los fabricantes ABB y WEG.

A continuación se presentarán los mensajes de alarmas y de fallas funcionales de acuerdo a estos fabricantes:

7.1.1. ABB ACS800.

Un mensaje de alarma o fallo en la pantalla del panel indica un estado anormal del convertidor. La mayoría de causas de alarmas y fallos pueden identificarse y corregirse con esta información.

El convertidor puede restaurarse pulsando la tecla **RESET** en el teclado, por entrada digital o bus de campo o desconectando la tensión de alimentación unos instantes. Cuando se haya eliminado el fallo, podrá reiniciar el motor.

Cuando se detecta un fallo, éste se almacena en el historial de fallos. Los últimos fallos y alarmas se almacenan junto con la indicación de la hora en la que se detectó el evento. El registrador almacena los últimos 64 fallos. Cuando se desconecta la alimentación del convertidor, se almacenan los últimos 16 fallos. [9]

Tabla 2. Mensajes de alarma generados por el convertidor.

ADVERTENCIA	CAUSA	ACCIÓN
TEMP DEL RADIADOR (4210)	La temperatura de los IGBT es excesiva. El límite de disparo por	Compruebe las condiciones ambientales.

	fallo es de 100%.	<p>Compruebe el flujo de aire y el funcionamiento del ventilador.</p> <p>Compruebe la acumulación de polvo en las aletas del disipador térmico.</p> <p>Compruebe la potencia del motor con respecto a la potencia de la unidad.</p>
FUNC < EA MIN (8110)	La señal de control analógica está por debajo del valor mínimo permitido debido a un nivel incorrecto de señal o un fallo en el cableado de control.	<p>Compruebe que los niveles de señal de control analógica sean correctos.</p> <p>Compruebe el cableado de control.</p> <p>Compruebe los parámetros de Función de fallo.</p>
TEMP CHOP (7114)	Sobrecarga del chopper de frenado.	<p>Pare el convertidor. Deje enfriar el chopper.</p> <p>Compruebe los ajustes de parámetros de la función de protección de sobrecarga de la resistencia (véase el grupo de parámetros 27 CHOPPER).</p> <p>Compruebe que el ciclo de frenado se ajuste a los límites permitidos.</p> <p>Compruebe que la tensión de CA de alimentación del convertidor no sea excesiva.</p>

<p>MODULO COMUN (7510)</p>	<p>Pérdida de comunicación cíclica entre el convertidor y el maestro.</p>	<p>Compruebe el estado de la comunicación de bus de campo. Véase el capítulo <i>Control por bus de campo</i> o el manual del adaptador de bus de campo apropiado. Compruebe los ajustes de parámetros: - grupo 51 DATOS MODULO COM (para adaptador de bus de campo) - grupo 52 MODBUS ESTANDAR (para Enlace Modbus Estándar). Compruebe los parámetros de Función de fallo. Compruebe las conexiones de cable. Compruebe si el maestro puede comunicar.</p>
<p>FALLO A TIERRA (2330)</p>	<p>El convertidor ha detectado un desequilibrio de la carga debido normalmente a un fallo a tierra en el motor o cable a motor.</p>	<p>Compruebe que no haya condensadores de corrección de factor de potencia ni amortiguadores de sobretensiones transitorias en el cable a motor. Compruebe que no exista un fallo a tierra en el motor o cables a motor: - mida las resistencias de aislamiento del motor y el cable a motor. Si no se detecta un fallo a tierra, contacte con su representante de ABB</p>

		local.
ENC CABLE (7310)	Ausencia de señal de fase del generador de pulsos.	<p>Compruebe el generador de pulsos y su cableado.</p> <p>Compruebe el módulo de interfaz del generador de pulsos y su cableado.</p>
SOBRETMP INV (4290)	La temperatura del módulo convertidor es excesiva.	<p>Compruebe la temperatura ambiente. Si supera los 40 °C, verifique que la intensidad de carga no supere la capacidad de carga reducida del convertidor. Véase el manual de hardware apropiado.</p> <p>Compruebe que la configuración de temperatura ambiente sea correcta (parámetro 95.10).</p> <p>Compruebe el flujo de aire de refrigeración del módulo del convertidor y el funcionamiento del ventilador.</p> <p>Instalación en armario: Compruebe los filtros de aire de entrada del armario. Sustitúyalos cuando sea necesario.</p> <p>Véase el manual de hardware apropiado.</p> <p>Módulos instalados en armario por el usuario: Compruebe que se ha evitado la circulación de aire de refrigeración en el armario con deflectores de aire.</p>

		Véanse las instrucciones de instalación del módulo. Compruebe si existe acumulación de polvo en el interior del armario y el dissipador del módulo del convertidor. Límpielo si fuera necesario.
MOTOR TEMP (4310)	La temperatura del motor es excesiva (o parece serlo). Puede deberse a una carga excesiva, a potencia insuficiente del motor, a refrigeración inadecuada o a datos de partida incorrectos.	Compruebe las especificaciones, la carga y la refrigeración del motor. Compruebe los datos de partida. Compruebe los parámetros de Función de fallo.
SUST VENTIL (4280)	El tiempo de funcionamiento del ventilador de refrigeración del inversor ha excedido su vida estimada.	Sustituya el ventilador.

Fuente. [11] ACS800 –Manual de Firmware. Programa de Control Estándar. ABB Oy.

Tabla 3. Mensajes de fallos generados por el convertidor.

FALLO	CAUSA	ACCIÓN
TEMP DEL RADIADOR (4210)	La temperatura de los IGBT es excesiva. El límite de disparo por fallo es de 100%.	Compruebe las condiciones ambientales. Compruebe el flujo de aire y el funcionamiento del ventilador. Compruebe la acumulación de polvo en las aletas del dissipador

		<p>térmico.</p> <p>Compruebe la potencia del motor con respecto a la potencia de la unidad.</p>
<p>DEFECTO CHOPP (7110)</p>	<p>La resistencia de frenado no está conectada o está dañada.</p> <p>La especificación de resistencia de frenado es demasiado alta.</p>	<p>Compruebe la resistencia y la conexión de la resistencia.</p> <p>Compruebe que el valor de la resistencia cumple las especificaciones.</p> <p>Véase el manual de hardware del convertidor apropiado.</p>
<p>MED INTENS (2211)</p>	<p>Fallo del transformador de corriente en el circuito de medición de intensidad de salida.</p>	<p>Compruebe las conexiones del transformador de corriente con la tarjeta de interfaz del circuito principal, INT.</p>
<p>DESEQ FASES xx (2330)</p>	<p>El convertidor ha detectado un desequilibrio excesivo de intensidad de salida en la unidad inversora de diversos módulos inversores conectados en paralelo. Puede deberse a un fallo externo (fallo a tierra, motor, cables a motor, etc.) o a un fallo interno (componente del inversor dañado). xx (1...12) indica el número de módulo inversor.</p>	<p>Compruebe que no haya condensadores de corrección de factor de potencia ni amortiguadores de sobretensiones transitorias en el cable a motor.</p> <p>Compruebe que no exista un fallo a tierra en el motor o cables a motor:</p> <ul style="list-style-type: none"> - mida las resistencias de aislamiento del motor y el cable a motor. <p>Si no se detecta un fallo a tierra, contacte con su representante de ABB</p>

		local.
SOBRETENS CC (FF80)	La tensión de alimentación del convertidor es excesiva. Cuando la tensión de alimentación es superior al 124% de la tensión nominal de la unidad (415, 500) la velocidad del motor pasa rápidamente al nivel de disparo (40% de la velocidad nominal).	Verifique la tensión de alimentación, la tensión nominal del convertidor y el rango permitido del convertidor.
SOBRETENS CC (3210)	Tensión de CC del circuito intermedio excesiva. El límite de disparo por sobretensión de CC es $1,3 \times 1,35 \times U1_{max}$, donde $U1_{max}$ es el valor máximo del rango de tensión de alimentación. Para unidades de 400 V, $U1_{max}$ es 415 V. Para unidades de 500 V, $U1_{max}$ es 500 V. La tensión real en el circuito intermedio, correspondiente al nivel de disparo de tensión de alimentación es de 728 V CC para las unidades de 400 V, 877 V CC para las unidades de 500 V.	Compruebe que el regulador de sobretensión esté activado (parámetro 20.05). Compruebe las sobretensiones estáticas o de oscilación en la tensión de alimentación. Compruebe el chopper y la resistencia de frenado (si se utilizan). Compruebe el tiempo de deceleración. Use la función de paro libre (si procede). Modifique el convertidor de frecuencia con un chopper de frenado y una resistencia de frenado.
SUBTENS CC (3220)	Tensión de CC del circuito intermedio	Compruebe la alimentación principal y

	<p>insuficiente debido a la falta de una fase de la tensión de alimentación, un fusible fundido o el fallo interno de un puente rectificador.</p> <p>El límite de disparo por subtensión de CC es $0,6 \times 1,35 \times U1_{\min}$, donde $U1_{\min}$ es el valor mínimo del rango de tensión de alimentación.</p> <p>Para unidades de 400 V y de 500 V, $U1_{\min}$ es 380 V. Para unidades de 690 V, $U1_{\min}$ es 525 V. La tensión real en el circuito intermedio, correspondiente al nivel de disparo de tensión de alimentación, es 307 V CC para unidades de 400 V y de 500 V, y 425 V CC para unidades de 690 V.</p>	los fusibles.
FASE MOTOR (FF56)	Pérdida de una de las fases de motor debido a un fallo en el motor, el cable a motor, el relé térmico (si se utiliza) o un fallo interno.	Compruebe el motor y el cable a motor. Compruebe el relé térmico (si se usa). Compruebe los parámetros de Función de fallo. Desactive esta protección.
MOTOR BLOQ (7121)	El motor funciona en la región de bloqueo debido, por ejemplo, a una carga excesiva o a una potencia del motor insuficiente.	Compruebe la carga del motor y las especificaciones del convertidor. Compruebe los parámetros de Función de fallo.
SOBREINTENSIDAD (2310)	La intensidad de salida supera el límite de	Compruebe la carga del motor.

	disparo.	<p>Compruebe el tiempo de aceleración.</p> <p>Compruebe el motor y el cable a motor (incluyendo las fases).</p> <p>Compruebe que no haya condensadores de corrección de factor de potencia ni amortiguadores de sobretensiones transitorias en el cable a motor.</p> <p>Compruebe el cable del encoder (incluyendo las fases).</p>
FALLO RED (3381)	Fallo de tensión de la tarjeta INT en diversas unidades inversoras de módulos inversores conectados en paralelo.	<p>Compruebe que el cable de alimentación de la tarjeta INT esté conectado.</p> <p>Compruebe que la tarjeta POW funciona correctamente.</p> <p>Sustituya la tarjeta INT.</p>
PPCC LINK (5210)	Enlace de fibra óptica con la tarjeta INT defectuoso.	<p>Compruebe los cables de fibra óptica o el enlace galvánico. Con los tamaños de bastidor R2-R6 el enlace es galvánico.</p> <p>Si RMIO recibe alimentación externa, verifique que la alimentación esté conectada.</p> <p>Véase el parámetro 16.09 ALIM TARJ CTRL. Compruebe la señal 03.19.</p>

		Contacte con el representante de ABB si existe algún fallo activo en la señal 3.19.
CORTOCIRCUITO (2340)	<p>Cortocircuito en el(los) cable(s) a motor o en el motor.</p> <p>Puente de salida de la unidad convertidor defectuoso.</p>	<p>Compruebe el motor y el cable a motor.</p> <p>Compruebe que no haya condensadores de corrección de factor de potencia ni amortiguadores de sobretensiones transitorias en el cable a motor.</p> <p>Contacte con el representante de ABB.</p>
FASE RED (3130)	<p>Tensión de CC del circuito intermedio oscilante debido a la falta de una fase de la tensión de alimentación, un fusible fundido o el fallo interno de un puente rectificador.</p> <p>Se produce el disparo cuando el rizado de la tensión de CC representa el 13% de la tensión de CC.</p>	<p>Compruebe la alimentación principal y los fusibles.</p> <p>Verifique si existe un desequilibrio de alimentación principal.</p>

Fuente: [11] ACS800 –Manual de Firmware. Programa de Control Estándar. ABB Oy.

7.1.2. WEG (CFW11)

Tabla 4. Fallas, Alarmas y sus posibles causas.

F006: Desequilibrio o Falta de	Falla de desequilibrio o falta de fase en la red	Falta de fase en la entrada del convertidor
-----------------------------------	--	---

<p>Fase en la Red</p>	<p>de alimentación.</p> <p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En caso de que el motor no tenga carga en el eje o se encuentre con baja carga en el eje no ocurrirá esta falla. - Tiempo de actuación ajustado en P0357. P0357=0 deshabilita la falla. 	<p>de frecuencia.</p> <p>Desequilibrio de tensión de entrada >5 %.</p>
<p>F021: Sub-tensión CC</p>	<p>Falla de sub-tensión en el circuito intermedio.</p>	<p>Tensión de alimentación muy baja, ocasionando tensión en el bus CC menos que el valor mínimo (leer el valor en el parámetro P0004):</p> <p>Ud < 223 V - Tensión de alimentación trifásica 220-230 V;</p> <p>Ud < 385 V - Tensión de alimentación 380 V (P0296=1);</p> <p>Ud < 405 V - Tensión de alimentación 400-415 V (P0296=2);</p> <p>Ud < 446 V - Tensión de alimentación 440-460 V (P0296=3);</p> <p>Ud < 487 V - Tensión de alimentación 480 V (P0296=4).</p> <p>Falta de fase en la entrada.</p> <p>Falla en el circuito de</p>

		<p>precarga.</p> <p>Parámetro P0296 seleccionado para usar arriba de la tensión nominal de la red.</p>
F022: Sobretensión CC	Falla de sobretensión en el circuito intermedio.	<p>Tensión de alimentación muy alta, resultando en una tensión en el barramiento CC arriba del valor máximo: $U_d > 400 \text{ V}$ – Modelos 220-230 V (P0296=0); $U_d > 800 \text{ V}$ – Modelos 380-480 V (P0296=1, 2, 3 o 4).</p> <p>Inercia de la carga accionada muy alta o rampa de desaceleración muy rápida. Ajuste de P0151 o P0153 o P0185 muy alto.</p>
F030: Falla Brazo U	Falla de desaturación en los IGBT's del brazo U.	Cortocircuito entre las fases U y V o U y W del motor.
F034: Falla Brazo V	Falla de desaturación en los IGBT's del brazo V.	Cortocircuito entre las fases V y U o V y W del motor.
F038: Falla Brazo W	Falla de desaturación en los IGBT's del brazo W.	Cortocircuito entre las fases W y U o W y V del motor
A046: Carga Alta en el Motor	<p>Alarma de sobrecarga en el motor.</p> <p>Observaciones:</p> <p>Puede ser deshabilitada ajustando P0348=0 o 2.</p>	<p>Ajuste de P0156, P0157 y P0158 bajo para el motor utilizado.</p> <p>Carga alta en el eje del motor.</p>

<p>A047: Carga Alta en los IGBT's</p>	<p>Alarma de sobrecarga en los IGBT's.</p> <p>Observaciones:</p> <p>Puede ser deshabilitada ajustando P0350=0 o 2.</p>	<p>Corriente alta en la salida del convertidor.</p>
<p>F048: Sobrecarga en los IGBT's</p>	<p>Falla de sobrecarga en los IGBT's.</p>	<p>Corriente muy alta en la salida del convertidor.</p>
<p>A050: Temperatura IGBTs Alta.</p>	<p>Alarma de temperatura elevada medida en los sensores de temperatura (NTC) de los IGBTs.</p> <p>Observaciones:</p> <p>Puede ser deshabilitada ajustando P0353=2 o 3.</p>	<p>Temperatura ambiente en las proximidades del convertidor de frecuencia alta (> 45 °C) y corriente de salida elevada.</p> <p>Ventilador del disipador bloqueado o con defecto. Disipador muy sucio.</p>
<p>F051: Sobrettemperatura IGBT's</p>	<p>Falla de sobrettemperatura de los IGBT's [medida en los sensores de temperatura (NTC)].</p>	
<p>F071: Sobrecorriente en la Salida</p>	<p>Falla de sobrecorriente en la salida.</p>	<p>Inercia de la carga muy alta o rampa de aceleración muy rápida.</p> <p>Ajuste de P0135, P0169, P0170, P0171 y P0172 muy alto.</p>
<p>F072: Sobrecarga en el Motor</p>	<p>Falla de sobrecarga en el motor.</p> <p>Observación.:</p>	<p>Ajuste de P0156, P0157 y P0158 muy bajo para el motor.</p>

	Puede ser deshabilitada ajustando P0348=0 o 3.	Carga muy alta en el eje del motor.
F074: Falta (Falla) a la Tierra	Falla de sobre-corriente para la tierra. Observaciones : Puede ser deshabilitada ajustando P0343=0.	Cortocircuito para la tierra en una o más fases de salida. Capacitancia de los cables del motor elevada ocasionando picos de corriente en la salida.
F076: Desequilibrio de la Corriente del Motor	Falla de desequilibrio de las corrientes del motor. Observaciones : Puede ser deshabilitada ajustando P0342=0.	Mal contacto o cableado interrumpido en la conexión entre el convertidor de frecuencia y el motor. Control vectorial con pérdidas de orientación. Control vectorial con encoder, cableado del encoder o conexión con el motor al contrario.
F078: Sobre-temperatura Motor	Falla relacionada al sensor de temperatura tipo PTC instalado en el motor. Observaciones : -Puede ser deshabilitada ajustando P0351=0 o 3. - Necesario programar entrada y salida analógica para la función PTC.	Carga muy alta en el eje del motor. Ciclo de carga muy elevado (grande número de arranques y paradas por minuto). Temperatura ambiente alta en las proximidades del convertidor de frecuencia. Mal contacto o cortocircuito (resistencia < 100 Ω) en el cableado de conexión al termistor del motor.

		<p>Termistor del motor no instalado.</p> <p>Eje del motor trabado.</p>
<p>A152: Temperatura Aire Interno Alta</p>	<p>Alarma de temperatura del aire interno alta.</p> <p>Observaciones:</p> <p>Puede ser deshabilitada ajustando P0353=1 o 3.</p>	<p>Temperatura ambiente en las proximidades del convertidor de frecuencia alta (> 45 °C) y corriente de salida elevada.</p> <p>Ventilador interno defectuoso.</p>
<p>F153: Sobrettemperatura Aire Interno</p>	<p>Falla de sobrettemperatura del aire interno.</p>	
<p>A177: Sustitución Ventilador</p>	<p>Alarma para sustitución del ventilador (P0045 > 50000 horas).</p> <p>Observaciones :</p> <p>Puede ser deshabilitado ajustando P0354=0.</p>	<p>Número de horas máximo de operación del ventilador del disipador excedido.</p>
<p>F179: Falla Velocidad Ventilador</p>	<p>Falla en la realimentación de velocidad del ventilador del disipador.</p> <p>Observaciones :</p> <p>Puede ser deshabilitada ajustando P0354=0.</p>	<p>Suciedad en las palas y rodamientos del ventilador.</p> <p>Defecto en el ventilador del disipador.</p>
		<p>Fusible de comando abierto.</p>

F185 Falla Precarga	Contactor	Falla en el circuito del contactor de precarga.	Falta de fase en la entrada en L1/R ó L2/S. Defecto en el contactor de precarga y/o circuito relacionado.
---------------------------	-----------	---	---

Fuente: [12] WEG, CFW11. Manual de Usuario

Tabla 5. Solución de los problemas más frecuentes.

Motor no gira	Cableado errado	1. Verificar todas las conexiones de potencia y de comando. Por ejemplo, las entradas digitales Dlx programadas como gira/para, habilita general, o sin error externo deben estar conectadas al 24 Vcc o al DGND*
	Consigna analógica (si utilizada)	1. Verifique si la señal externa está conectado apropiadamente. 2. Verificar el estado del potenciómetro de control.
	Programación errónea	1. Verificar si los parámetros están con los valores correctos para la aplicación.
	Falla	1. Verificar si el convertidor no está bloqueado debido a una condición de falla.

		2. Verificar si no existe cortocircuito entre los terminales XC1:13 y XC1: 11 (cortocircuito en la fuente de 24 Vcc).
	Motor bloqueado (motor stall)	1. Reducir la sobrecarga del motor. 2. Aumentar P0136, P0137 (V/f) o P0169/P0170 (control vectorial).
Velocidad del motor varia (fluctúa)	Conexiones flojas.	1. Bloquear el convertidor, interrumpir la alimentación y apretar todas las conexiones. 2. Chequear el aprieto de todas las conexiones internas del convertidor.
	Potenciómetro de la consigna con defecto.	1. Sustituir el potenciómetro.
	Variación de la consigna analógica externa	1. Identificar el motivo de la variación. Si el motivo fuera ruido eléctrico, utilice cable apantallado o desplazar del cableado de potencia o comando.
	Parámetros mal ajustados (control vectorial)	1. Verificar parámetros P0410, P0412, P0161, P0162, P0175 y P0176. 2. Consultar Manual de Programación.
Velocidad del motor muy alta o muy baja	Programación errónea (límites de la consigna).	1. Verificar si el contenido de P0133 (velocidad mínima) y de P0134 (velocidad máxima) están de acuerdo con el motor

		y la aplicación.
	Señal de control de la consigna analógica (si es utilizada).	1. Verificar el nivel de la señal de control de la referencia. 2. Verificar programación (ganancias y offset) en P0232 a P0249.
	Datos de placa del motor	Verificar si el motor utilizado está de acuerdo con el necesario para la aplicación.
Motor no alcanza la velocidad nominal, o la velocidad empieza a oscilar cuando cerca de la velocidad nominal (Control Vectorial)	Programación	1. Reducir P0180. 2. Verificar P0410
Display apagado	Conexión de la HMI	1. Verificar las conexiones de la HMI externa al convertidor.
	Tensión de alimentación	1. Valores nominales deben estar dentro de los límites determinados a seguir: 2. Alimentación 220-230 V: - mínimo: 187 V - Máximo: 253 V Alimentación 380-480 V: - Mínimo: 323 V - Máximo: 528 V
	Fusible (s) de la alimentación abierto (s)	1. Sustitución del (los) fusible (s).

--	--	--

Fuente: [12] CFW11. Manual de Usuario.

7.2. ANÁLISIS DE DATOS.

Se considera importante asociar las fallas comunes en ambos equipos. A continuación se listan las fallas comunes y una comparación:

Tabla 6. Comparación de fallas comunes en los convertidores ABB (ACS800) y WEG (CFW11).

ABB (ACS800)	WEG (CFW11)
4210. Temp. del radiador	F051. Sobre temperatura en los IGBT's
FF80. Sobretens. C.C.	F022. Sobretensión C.C.
3220. SUBTENS CC	F021. Sub-tensión. C.C.
2310. SOBREINTENSIDAD	F048. Sobrecarga en los IGBT's
	F071.: Sobrecorriente en la Salida
2340. CORTOCIRCUITO	F030: Falla Brazo U
	F034: Falla Brazo V
	F038: Falla Brazo W
	F076:

2330. DESEQ FASES xx	Desequilibrio de la Corriente del Motor
----------------------	---

Las siete preguntas de RCM2 pueden ayudar a estructurar y determinar qué tareas son adecuadas para estos equipos.

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?

- Variar la velocidad (r.p.m.) y frecuencia (Hz) de un motor eléctrico AC., siguiendo una consigna o referencia local o remota.
- Mantener la temperatura interna dentro de un rango entre 0 y 40 °C.
- Medir corrientes y tensiones de salida.
- Proporcionar la corriente necesaria para garantizar el torque adecuado en el eje del motor, de acuerdo a la carga presente.
- Mantener la tensión de operación del bus C.C. desde $0,6 \times 1,35 \times V_{in}$ min hasta $1,3 \times 1,35 \times V_{input}$ máx.
- Controlar el encendido y apagado del motor eléctrico.

2. ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?

1. A. No variar la velocidad.
1. B. Variar la velocidad por encima de la consigna local o remota.
1. C. Variar la velocidad por debajo de la consigna local o remota.
2. A. Permitir temperaturas internas superiores a 40 °C.
2. B. Permitir temperaturas internas inferiores a 0 °C.
3. A. No medir ninguna tensión ni corriente de salida.
3. B. Medir las tensiones y corrientes de salida superiores a las reales.
3. C. Medir las tensiones y corrientes de salida inferiores a las reales.
4. A. El variador no proporciona ninguna corriente al motor.
4. B. El variador proporciona una corriente mayor a la necesaria para garantizar torque en el motor.
4. C. El variador proporciona una corriente menor a la necesaria para garantizar torque en el motor.
4. D. La corriente de salida del variador se desvía por tierra.
5. A. No hay tensión en el bus C.C.
5. B. La tensión en el bus C.C. es inferior a $0,6 \times 1,35 \times V_{in}$ mínimo
5. C. La tensión en el bus C.C. es superior a $1,3 \times 1,35 \times V_{in}$ máximo.
6. A. El variador no controla el encendido del motor eléctrico.
6. B. El variador no controla el apagado del motor eléctrico.

3. ¿Qué ocasiona cada falla funcional?

La información de las tablas 1, 2, y 3 referentes a las fallas y alarmas del variador responden esta pregunta. Se hace una asociación entre las fallas de la pregunta 2 y las mencionadas en las anteriores tablas.

Daño o ruptura de cableado de control a señales de entradas digitales y analógicas.

Daño del potenciómetro o resistor variable.

Daño de transductor encargado de generar la consigna.

Fallo en redes de comunicaciones.

Configuración inadecuada de parámetros de consignas.

Atascamiento total de aspas de ventilador(es).

Atascamiento parcial de aspas de ventilador(es).

Cumplimiento de horas de vida útil de ventilador(es).

Alto grado de contaminación en rejillas de disipador.

Daño en sensor PTC.

Daño en tarjeta interfaz.

Temperatura ambiente extrema.

Daño en transductores de efecto Hall (CT's).

Daño de circuito inversor.

Daño en conexiones internas.

Daño de tarjeta de control.

Baja carga de la aplicación.

Exceso de carga de la aplicación.

Fallo en la alimentación de la red eléctrica.

Caída de tensión de la red eléctrica.

Aumento de tensión de la red eléctrica.

Regeneración.

Bajo aislamiento en motor eléctrico.

Cortocircuito en motor eléctrico.

Motor eléctrico 'aterrizado'.

Cables defectuosos de salidas a motor eléctrico.

Falta de mantenimiento en motor eléctrico.

Cortocircuito en módulo puente rectificador.

Cortocircuito en IGBT.

Daño de circuito de precarga.

Daño de condensadores de bus C.C.

Cortocircuito entre las entradas o salidas y tierra.

Fallo en la comunicación entre la tarjeta de control e interfaz.

Cableado incorrecto de tarjeta de control y otros circuitos asociados.

Datos incorrectos de placa en marcha de identificación.

4. ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?

Motor no gira.
 Se aprecia la diferencia entre referencia y velocidad real.
 El valor de la referencia visualizada en el panel/*display* no cambia.
 El valor de la corriente de salida visualizada en el panel/*display* es igual a cero en estado *RUN*.
 El motor se detiene inesperadamente.
 Incrementos excesivos de temperatura de Puente rectificador e IGBT's.
 Panel/*Display* se apaga.
 Se visualiza el fallo *4210 TEMP DEL RADIADOR* en el panel del ACS800 (ABB), o *F051. SOBRE TEMPERATURA EN LOS IGBT'S* en el *display* del CFW11 (WEG).
 Se visualiza en el panel *FF80 SOBRETENS. C.C.* o *F022. SOBRETENSIÓN*

C.C.

Se visualiza en el panel 3220. *SUBTENS CC.* o *F021. SUBTENSIÓN C.C.*
 Se visualiza en el panel 2310. *SOBREINTENSIDAD* o *F048. SOBRECARGA EN LOS IGBT'S / F071.: SOBRECORRIENTE EN LA SALIDA*
 Se visualiza en el panel 2340. *CORTOCIRCUITO* o *F030: Falla Brazo U/ F034: Falla Brazo V/ F038: Falla Brazo W.*
 Se visualiza en el panel 8110 *FUNC < EA MIN.*
 Se visualiza en el panel 7510 *MODULO COMUN.*
 Se visualiza en el panel 2330 *FALLO A TIERRA.*
 Se visualiza en el panel 2211 *MED INTENS.*
 Se visualiza en el panel 7121 *MOTOR BLOQ.*
 Se visualiza en el panel *PPCC LINK (5210).*
 Se visualiza en el panel *FF80 SOBRETENS. C.C.* o *F022. SOBRETENSIÓN C.C.*
 El motor no arranca de acuerdo a la señal *START-RUN*.
 El motor no se detiene de acuerdo a la señal *STOP*.
 Activación de protecciones (Ej.: Breaker, Fusibles).
 Explosión.

5. ¿De qué modo afecta cada falla? (Consecuencia. Impacto)

A continuación se describen los modos de falla y los tipos de consecuencia:

Tabla 7. Consecuencias y tipos de consecuencias.

MODO DE FALLA	TIPO DE CONSECUENCIA
Pérdida de la consigna local o remota de frecuencia o velocidad	CONSECUENCIA OPERACIONAL .
Daño o ruptura de cableado de control a	CONSECUENCIA OPERACIONAL .

señales de entradas digitales y analógicas.	
Daño del potenciómetro o resistor variable.	CONSECUENCIA OPERACIONAL.
Daño de transductor encargado de generar la consigna.	CONSECUENCIA OPERACIONAL.
Fallo en redes de comunicaciones.	CONSECUENCIA OPERACIONAL.
Configuración inadecuada de parámetros de consignas.	CONSECUENCIA OPERACIONAL.
Atascamiento total de aspas de ventilador(es).	CONSECUENCIA OPERACIONAL.
Atascamiento parcial de aspas de ventilador(es).	CONSECUENCIA OPERACIONAL.
Cumplimiento de horas de vida útil de ventilador(es).	CONSECUENCIA NO OPERACIONAL
Alto grado de contaminación en rejillas de disipador.	CONSECUENCIA OCULTA.
Daño en sensor PTC.	CONSECUENCIA OCULTA.
Daño en tarjeta interfaz.	CONSECUENCIA OCULTA.
Temperatura ambiente extrema.	CONSECUENCIA OPERACIONAL.
Daño en transductores de efecto Hall (CT's).	CONSECUENCIA OCULTA.

Daño de circuito inversor.	CONSECUENCIA DE SALUD, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
Daño en conexiones internas.	CONSECUENCIA DE SALUD, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
Daño de tarjeta de control.	CONSECUENCIA OCULTA.
Fallo en la alimentación de la red eléctrica.	CONSECUENCIA OPERACIONAL.
Caída de tensión de la red.	CONSECUENCIA OPERACIONAL.
Aumento de tensión de la red.	CONSECUENCIA DE SALUD, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
Regeneración.	CONSECUENCIA DE SALUD, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
Bajo aislamiento en motor eléctrico.	CONSECUENCIA OCULTA.
Cortocircuito en motor eléctrico.	CONSECUENCIA DE SALUD, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
Motor eléctrico 'aterrizado'.	CONSECUENCIA OCULTA.
Cables defectuosos de salidas a motor eléctrico.	CONSECUENCIA OCULTA.
Falta de mantenimiento en motor eléctrico.	CONSECUENCIA OPERACIONAL.
Incrementos excesivos de temperatura de Puente rectificador e IGBT's.	CONSECUENCIA OPERACIONAL.

Daño de circuito de precarga.	CONSECUENCIA OCULTA.
Cortocircuito entre las entradas o salidas y tierra.	CONSECUENCIA DE SALUD, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
Fallo en la comunicación entre la tarjeta de control e interfaz.	CONSECUENCIA OPERACIONAL.

7.3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN.

De acuerdo al análisis de la información obtenida, se propone utilizar el diagrama y las hojas de información y decisión como herramientas para las tareas proactivas o por omisión que surjan.

Tabla 8. Hoja de información propuesta para variadores de frecuencia.

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Variar la velocidad (r.p.m.) y frecuencia (Hz) de un motor eléctrico AC., siguiendo una consigna o referencia local o remota.	No variar la velocidad.	Fallo en redes de comunicaciones. (1A1)	Se visualiza en el panel el fallo MODULO COMUN (7510)
		Configuración inadecuada de parámetros de consignas. (1A2)	Motor no gira. Se aprecia la diferencia entre referencia y velocidad real.
		Daño de transductor encargado de generar la consigna. (1A3)	El valor de la referencia visualizada en el panel/ <i>display</i> no cambia.
		Daño de potenciómetro o	Se visualiza en el panel 8110 FUNC < EA MIN.

		resistor variable. (1A4)	
	Variar la velocidad por encima de la consigna local o remota.	Daño de transductor encargado de generar la consigna. (1B1)	
		Configuración inadecuada de parámetros de consignas. (1B2)	
	Variar la velocidad por debajo de la consigna local o remota.	Daño del potenciómetro o resistor variable. (1C1)	
		Daño de transductor encargado de generar la consigna. (1C2)	
		Configuración inadecuada de parámetros de consignas. (1C3)	
Mantener la temperatura interna dentro de un rango entre 0 a 40 °C.	Permitir temperaturas internas superiores a 40 °C.	Atascamiento total de aspas de ventilador(es). (2A1)	Incrementos excesivos de temperatura de Puente rectificador e IGBT's.
		Atascamiento parcial de aspas de ventilador(es). (2A2)	Se visualiza el fallo 4210 TEMP DEL RADIADOR en el panel del ACS800

		Cumplimiento de horas de vida útil de ventilador(es). (2A3)	(ABB), o F051. SOBRE TEMPERATURA EN LOS IGBT'S en el <i>display</i> del CFW11 (WEG). Motor se detiene inesperadamente.
		Alto grado de contaminación en rejillas de disipador. (2A4)	
		Daño en sensor PTC (2A5)	
		Daño en tarjeta interfaz. (2A6)	
		Temperatura ambiente extrema. (2A7)	
	Permitir temperaturas internas inferiores a 0 °C.	Temperatura ambiente extrema. (2B1).	
Medir corrientes y tensiones de salida.	No medir ninguna tensión ni corriente de salida.	Daño en transductores de efecto Hall (CT's). (3A1)	El valor de la corriente de salida visualizada en el panel/ <i>display</i> es igual a cero en estado <i>RUN</i> . Se visualiza en el panel 2211 MED INTENS.
		Daño en tarjeta interfaz. (3A2)	

	Medir las tensiones y corrientes de salida superiores a las reales.	Daño de circuito inversor. (3B1).	Se visualiza en el panel 2211 MED INTENS.
		Daño en conexiones internas. (3B2).	
		Daño de tarjeta de control. (3B3).	
		Daño en tarjeta interfaz. (3B4).	
	Medir las tensiones y corrientes de salida inferiores a las reales.	Daño de tarjeta de control. (3C1).	Se visualiza en el panel 2211 MED INTENS.
		Daño en tarjeta interfaz. (3C2).	
		Daño en conexiones internas. (3C3).	
		Daño de circuito inversor. (3C4).	
Proporcionar la corriente necesaria para garantizar el torque adecuado en el eje del motor, de	El variador proporciona una corriente mayor a la necesaria para garantizar torque	Bajo aislamiento en motor eléctrico. (4A1)	No aplica.

acuerdo a la carga presente.	en el motor.	Cortocircuito en motor eléctrico. (4A2).	Activación de protecciones. (Ej.: Breaker, Fusible).
		Exceso de carga de la aplicación. (4A3)	Se visualiza en el panel 2310. SOBREINTENSIDAD o F048. SOBRECARGA EN LOS IGBT'S / F071.: SOBRECORRIENTE EN LA SALIDA Se visualiza en el panel 7121 MOTOR BLOQ. El motor se detiene inesperadamente.
	El variador proporciona una corriente menor a la necesaria para garantizar torque en el motor.	Baja carga de la aplicación. (4B1)	No aplica.
	El variador no proporciona ninguna corriente al motor.	Cortocircuito de IGBT's. (4C1).	Se visualiza en el panel 2340. CORTOCIRCUITO o F030: Falla Brazo U/ F034: Falla Brazo V/ F038: Falla Brazo W. Explosión. Activación de protecciones. (Ej.: Breakers, Fusibles).
La corriente de salida del variador se	Motor eléctrico 'aterrizado'. (4D1)	Se visualiza en el panel 2330 FALLO A TIERRA.	

	desvía por tierra.		
		Cortocircuito entre las entradas o salidas y tierra. (4D2).	Se visualiza en el panel 2330 FALLO A TIERRA. Explosión. Activación de protecciones. (Ej.: Breakers, Fusibles).
Mantener la tensión de operación del bus C.C. desde $0,6 \times 1,35 \times V_{in}$ min hasta $1,3 \times 1,35 \times V_{input}$ máx.	No hay tensión en el bus C.C.	Daño de circuito de precarga. (5A1)	Panel/ <i>Display</i> se apaga/no enciende.
		Fallo en la alimentación de la red eléctrica. (5A2)	
	La tensión en el bus C.C. es inferior a $0,6 \times 1,35 \times V_{in}$ mínimo.	Daño de condensadores de bus C.C. (5B1)	Se visualiza en el panel 3220. SUBTENS CC. o F021. SUBTENSIÓN C.C. El motor se detiene inesperadamente.
		Bajo aislamiento en motor eléctrico. (5B2)	
Cortocircuito en motor eléctrico. (5B3)			
Caída de tensión de red. (5B4)			

	La tensión en el bus C.C. es superior a $1,3 \times 1,35 \times V_{in}$ máximo.	Regeneración. (5C1).	Se visualiza en el panel <i>FF80 SOBRETENS. C.C.</i> o <i>F022. SOBRETENSIÓN C.C.</i>
		Configuración de un tiempo muy corto de aceleración. (5C2).	El motor se detiene inesperadamente.
Controlar el encendido y apagado del motor eléctrico.	El variador no controla el encendido del motor eléctrico.	Fallo en la comunicación entre la tarjeta de control e interfaz. (6A1).	Se visualiza en el panel PPCC LINK (5210). El motor se detiene inesperadamente.
		Cableado incorrecto de la tarjeta de control y circuitos asociados. (6A2).	El motor no arranca de acuerdo a la señal <i>START-RUN</i> .
	El variador no controla el apagado del motor eléctrico.	Datos incorrectos de placa en marcha de identificación. (6B1).	El motor no se detiene de acuerdo a la señal <i>STOP</i> .

El paso siguiente para proponer las tareas preventivas, predictivas, proactivas o por omisión es analizar los modos de falla (pregunta 3 de R.C.M.) utilizando una herramienta muy útil: el diagrama de decisiones. Sin embargo, antes de revisar los modos de falla con el diagrama de decisiones, los manuales de usuario y firmware proporcionan información de mantenimiento preventivo, que puede incluirse en el diagrama y posteriormente en la hoja o planilla de decisiones. A continuación se presentan los formatos y tablas correspondientes:

Figura 7. Rutina de mantenimiento para CFW11 WEG.

Mantenimiento	Intervalo	Instrucciones
Cambio de los ventiladores	Tras 50000 horas de operación ⁽¹⁾	Procedimiento de cambio presentado en la Figura 6.1 en la página 6-11
Cambio de la batería de la HMI	Cada 10 años	Consulte el Capítulo 4 HMI en la página 4-1
Condensadores electrolíticos ⁽²⁾	Si el convertidor está almacenado (sin so): "Reforming"	Alimentar el convertidor con tensión entre 220 y 230 Vca monofásica o trifásica, 50 o 60 Hz, por 1 hora como mínimo Luego, desenergizar y esperar un mínimo de 24 horas antes de utilizar el convertidor (reenergizar)
	Convertidor en uso: cambios	A cada 10 años Contactarse con la asistencia técnica de WEG

[1] Los convertidores son programados en fábrica para control automático de los ventiladores (P0352 = 2), de forma que éstos solamente son encendidos cuando hay aumento de la temperatura del disipador. El número de horas de operación de los ventiladores dependerá, por lo tanto, de las condiciones de operación (corriente del motor, frecuencia de salida, temperatura del aire de refrigeración, etc.) El convertidor registra en el parámetro (P0045) el número de horas que el ventilador permaneció encendido. Cuando alcance 50000 horas de operación del ventilador será indicado en el display de la HMI la alarma A177.

[2] Válido solamente para las mecánicas F y G.


Fuente: [12] CFW11. Manual de Usuario.

Figura 8. Inspecciones periódicas semestrales.

Componente	Anormalidad	Acción Correctiva
Terminales, conectores	Tornillo flojo	Apretar
	Conectores flojos	
Ventiladores / Sistema de ventilación	Suciedad en los ventiladores	Limpieza
	Ruido acústico anormal	Sustituir ventilador. Consulte la figura 6.1 y 6.2.
	Ventilador parado	
	Vibración anormal	Verificar conexiones de los ventiladores.
Tarjeta de circuito impreso	Polvo en los filtros de aire de los tableros	Limpieza o sustitución
	Acúmulo de polvo, aceite, humedad, etc.	Limpieza
	Olor	Sustitución
Módulo de potencia / Conexiones de potencia	Acúmulo de polvo, aceite, humedad, etc.	Limpieza
	Tornillos de conexiones flojos	Apretar
Capacitores del barramiento CC (Circuito Intermediario)	Perdida de color / olor / fuga de electrolito	Sustitución
	Válvula de seguridad expandida o rota	
	Dilatación de la carcasa	
Resistor de potencia	Perdida de color	Sustitución
	Olor	
Disipador	Acúmulo de polvo	Limpieza
	Suciedad	

Fuente [12] CFW11 Manual de Usuario.

Figura 9. Rutinas de mantenimiento para variadores de frecuencia ABB ACS800.

	Maintenance Schedule ACS800 Drives					4FPS10000223379	
	Issued by ABB Oy, Drives Service	Creator name ESP300	Date 8.7.2015	Language en	Revision K	Distribution Public	Page 1 (1)

Legend:	
Inspection (visual inspection and maintenance action if needed)	I
Performance of on-off-site work (commissioning, tests, measurements or other work)	P
Replacement of component (if installation is in appropriate environment - see Hardware manual)	R

	Years from start-up																					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Start-up	P																					
Cooling, air cooled																						
Internal/external cooling fan for ACS800-01, -04, -11, -31, -104 (IP20, IP21 and IP55)				R			R				R				R			R			R	
Cooling fan for ACS800-01, -02, -04, -07, -11, -17, -31, -37, -38, -14, -104, DSU, ISU, ALCL				I			R				I			R			I			R		
DOL Cooling fan for DSU+V92, ALCL-1X, 0X-X (main supply frequency 50Hz)*				R			R				R			R			R			R		
Cooling fan for DSU+V92 (main supply frequency 50Hz)				I	I	I	R	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I	I	R	I	I	
Cooling fan for TSU				R			R				R			R			R			R		
Enclosure extension cooling fan (ACS800-02)				R			R				R			R			R			R		
Extra cooling fans inside cabinet (ACS800-x7, ACS800 md)				I			R				I			R			I			R		
Extra IP54 cooling fan on roof of cabinet (ACS800-07, ACS800 md)				I			R				I			R			I			R		
Cooling, liquid cooled units																						
Cooling fans ACS800LC, 50Hz				I			R				I			R			I			R		
DOL Cooling fan for ACS800LC, DSU LC, (main supply frequency 50Hz)*				R			R				R			R			R			R		
Check pH of coolant			P		P		P		P		P		P		P		P		P		P	
Add coolant corrosion inhibitor			P		P		P		P		P		P		P		P		P		P	
Heat exchanger cleaning			P		P		P		P		P		P		P		P		P		P	
Expansion tank air pressure			P		P		P		P		P		P		P		P		P		P	
Cooling liquid pump assembly				I			R				I			R			I			R		
Change coolant in internal cooling circuit											R						R					
Expansion tank											R						R					
Cooling liquid pipe connections		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
Aging																						
Electrolytic capacitors (DC circuit)											R									R		
Memory backup battery replacement in APU-xx unit							R						R						R			
ALCL filter capacitor 380 - 415V supply network** (ACS800-14, -17, -37, -38, -87, md)							I				I/R			I			I			I/R		
ALCL filter capacitor 460V - 690V supply network** (ACS800-14, -17, -37, -38, -87, md)							I/R				I			I/R			I			I/R		
Connections and environment																						
AINT+ fat cables, CNT, NRED, discharging resistors											R									R		
Power cable connections and quick connectors of the supply, inverter and converter modules (ACS800-x7 and ACS800 md)				I			I				I			I			I			I		
Air filters (IP20 to IP42)		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
Air filters (IP54 and IP54R)		R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
Cleanliness check (dustiness, corrosion and temperature) and/or heat sink cleaning		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
Improvements																						
Based on product notes				I			I				I			I			I			I		
Spare parts																						
DC circuit capacitors reforming		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	

*) DOL Cooling fan= Direct on line fan
 **) If filter is not replaced, the filter shall be inspected after 3 years from the last inspection.

Fuente: [13]
https://library.e.abb.com/public/bd611f8df36040e79b320554b1252dfb/ACS800-Maintenance-schedule_4FPS10000223379_rev-K.pdf. ABB Oy.

Para cada modo de falla, se considera necesario proponer los diagramas de decisiones y las tareas de mantenimiento predictivo, preventivo.

Figura 10. Diagrama de decisiones propuesta para modo de falla 1A1.

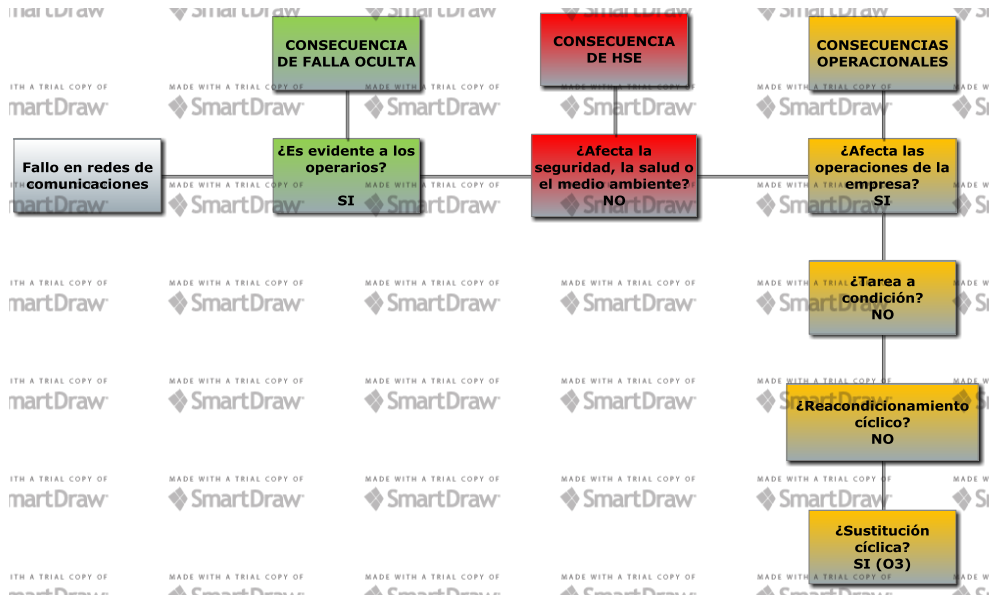


Figura 11. Diagrama de decisiones propuesta para modo de falla 1A2.



Figura 12. Diagrama de decisiones propuesto para el modo de falla 1A3/1B1/1C2.

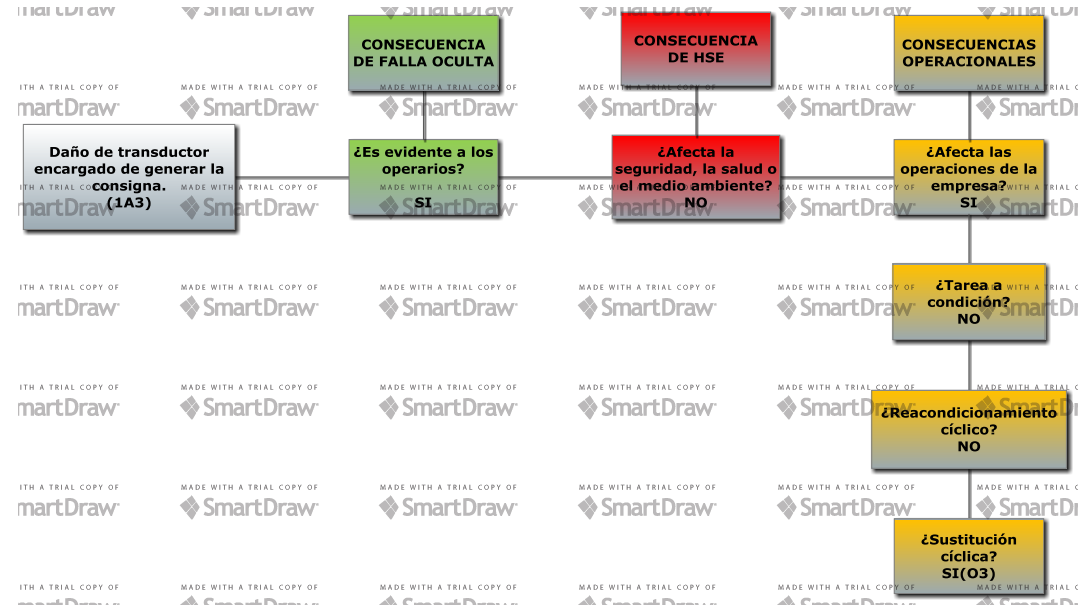


Figura 13. Diagrama de decisiones propuesto para el modo de fallo 1A4.

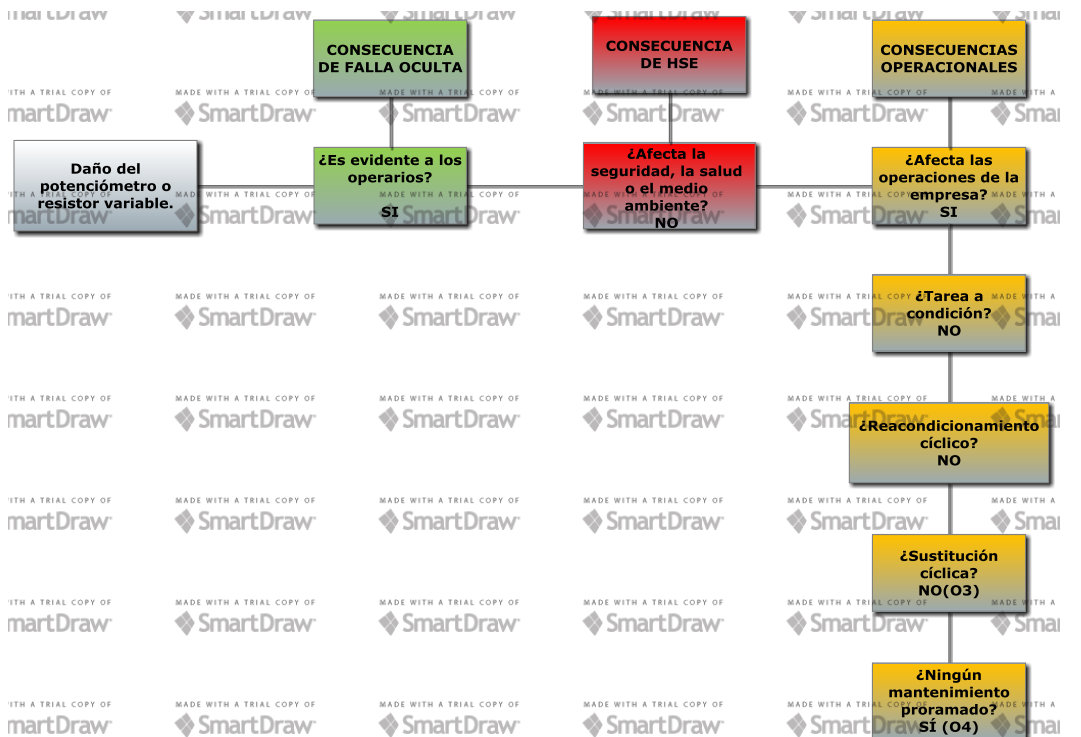


Figura 14. Diagrama de decisiones de modo de fallo 2A1.

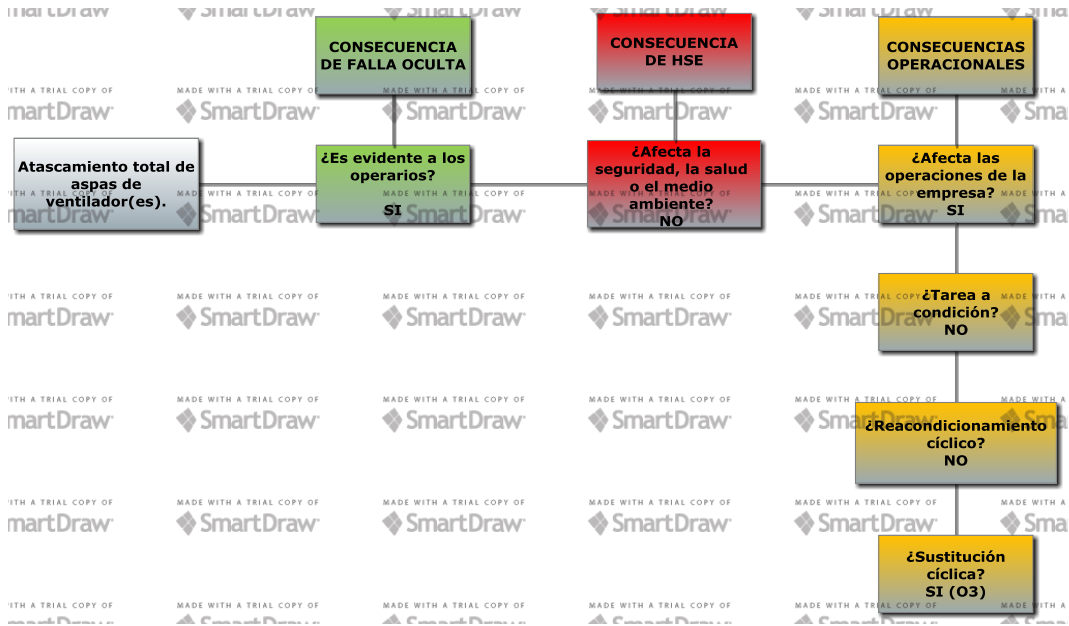


Figura 15. Diagrama de decisiones de modo de fallo 2A2.

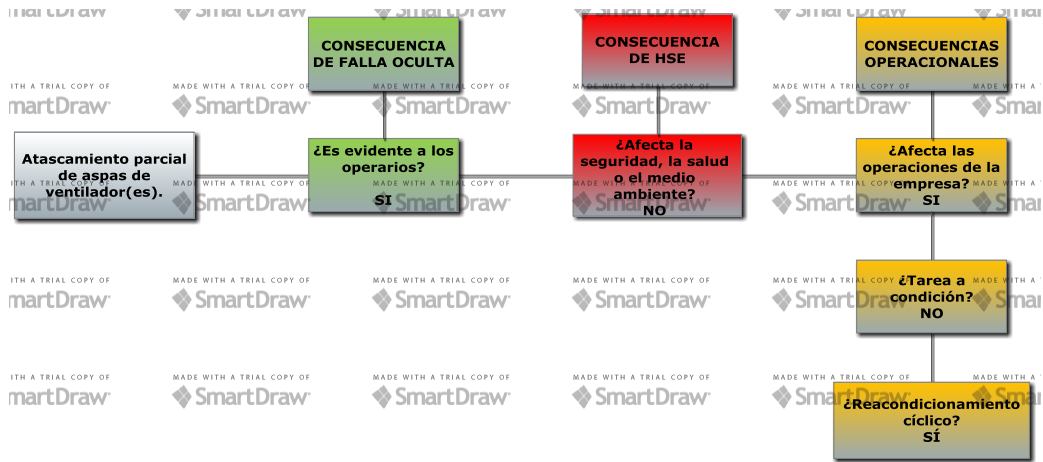


Figura 16. Diagrama de decisiones de modo de fallo 2A3.

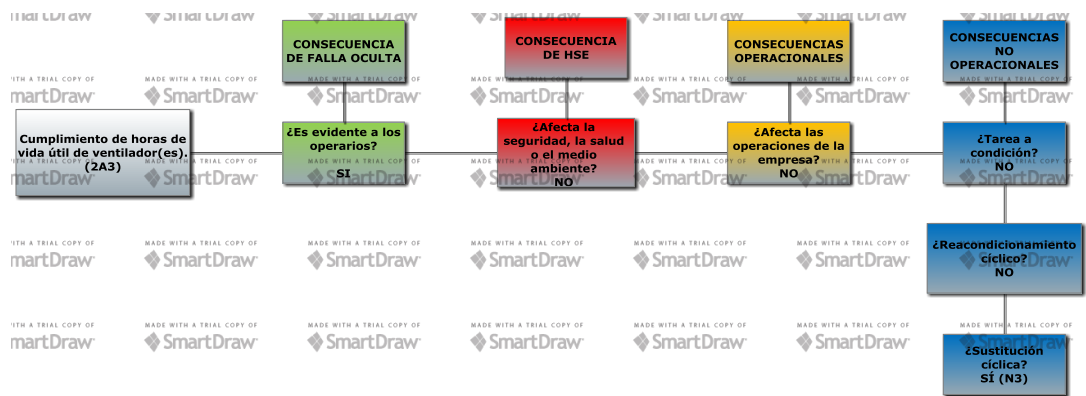


Figura 17. Diagrama de decisiones de modo de fallo 2A4.

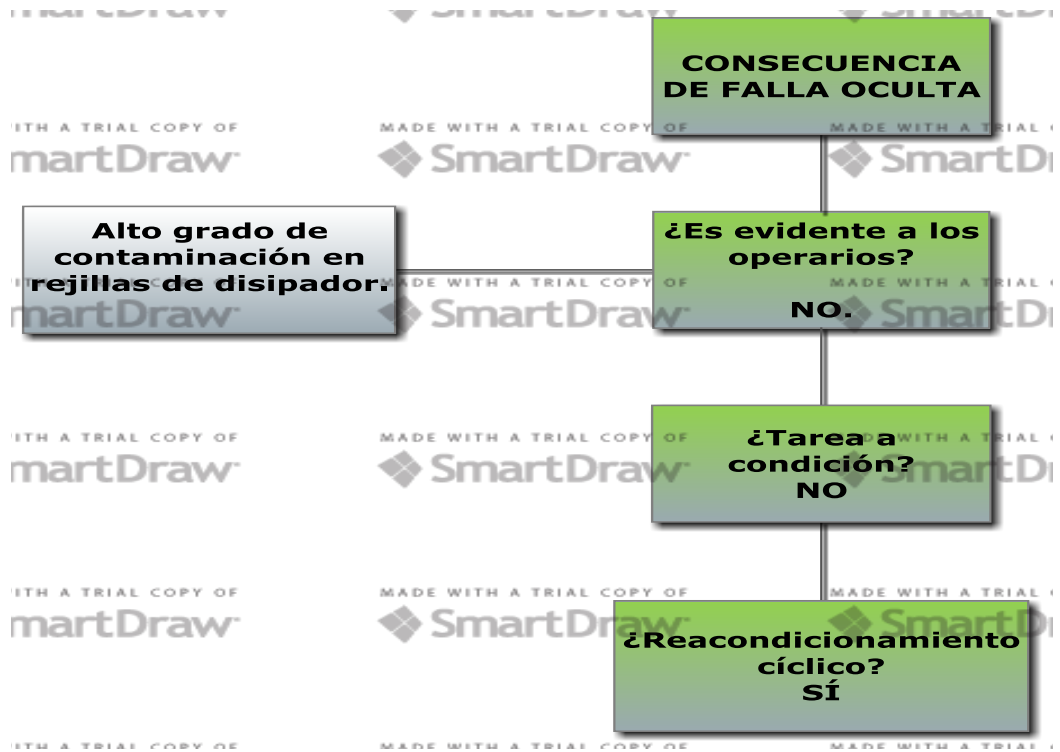


Figura 18. Diagrama de decisiones de modo de falla: a.) 2A5 y b.) 2A6.

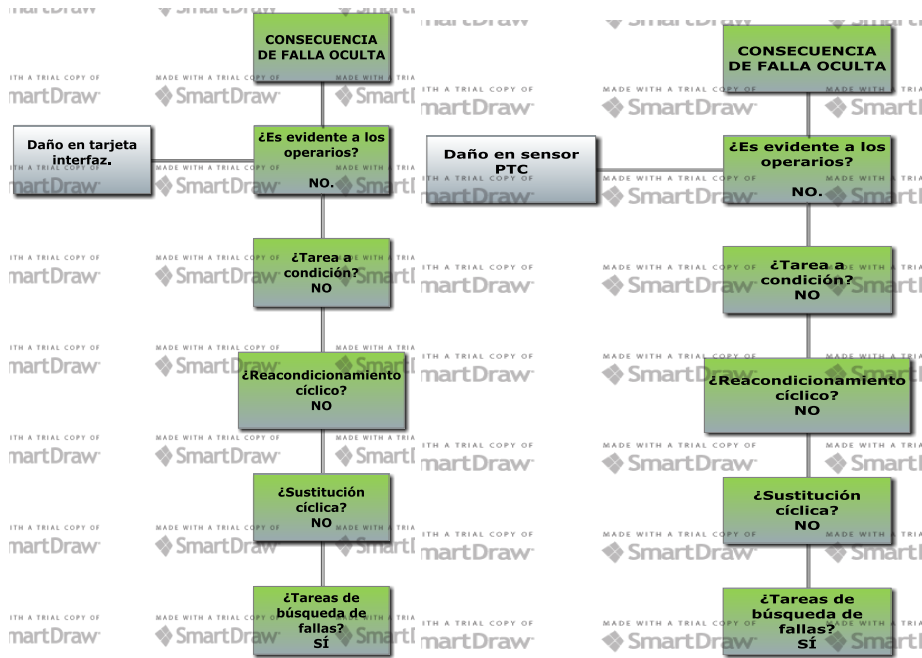


Figura 19. Diagrama de decisiones de modo de falla 2A7.

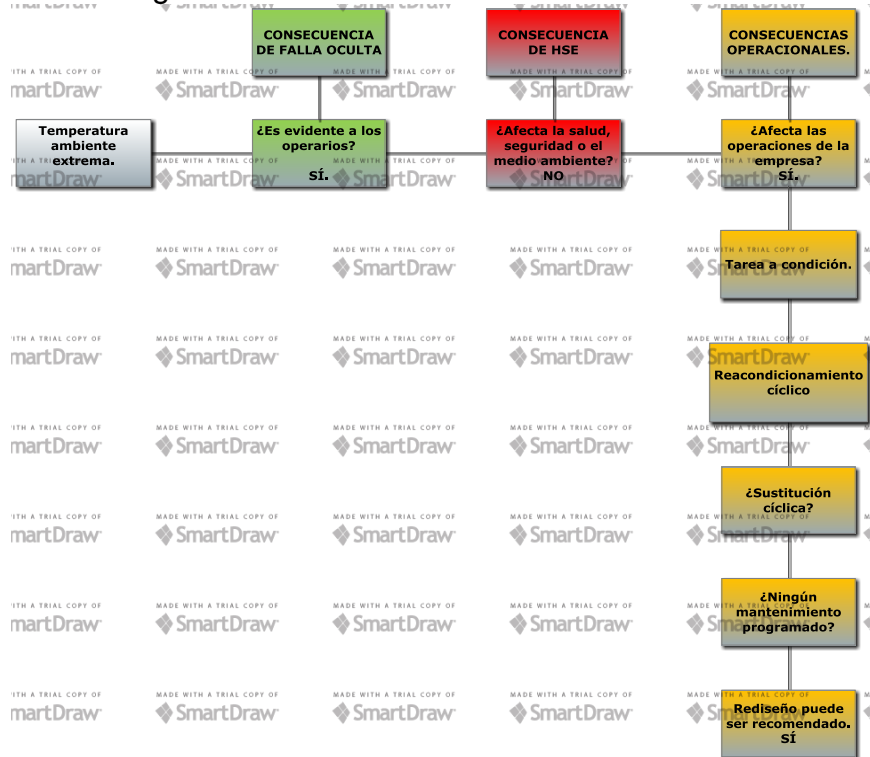


Figura 20. Diagrama de decisiones de modo de falla 3A1.

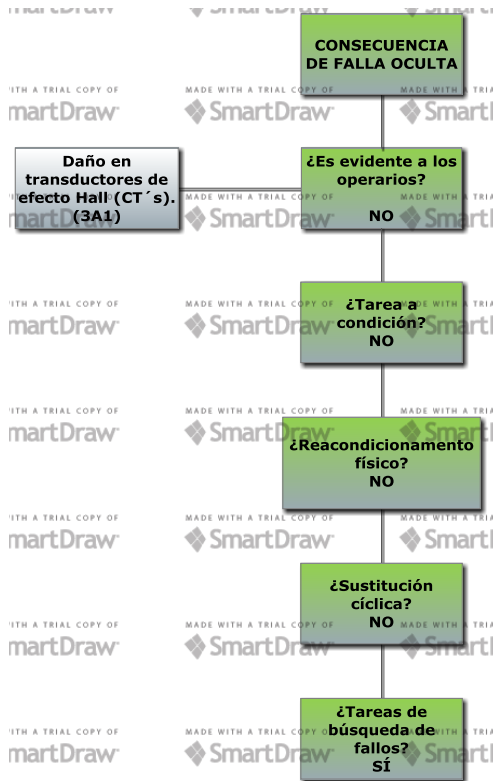


Figura 21. Diagrama de decisión de modo de falla 3B1.

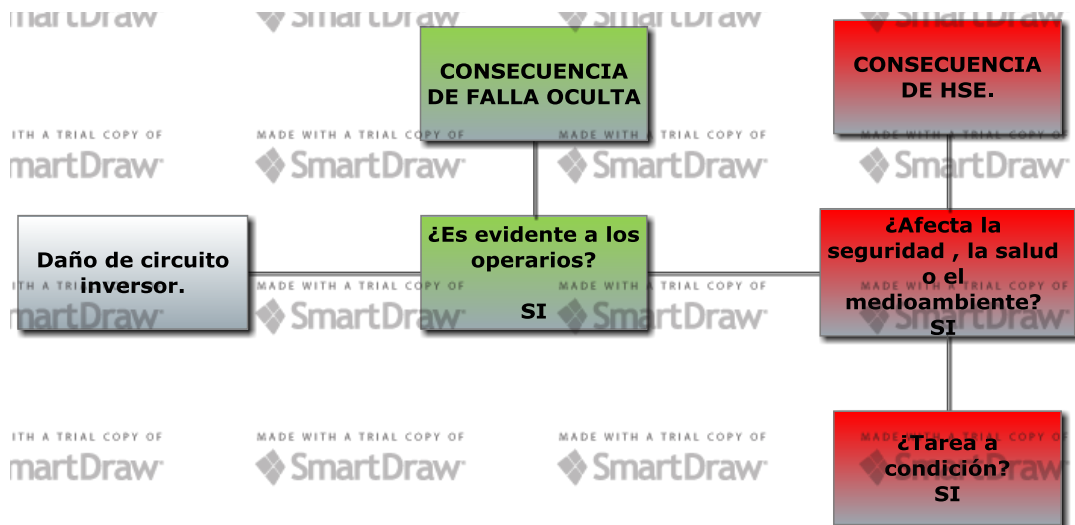


Figura 22. Diagrama de decisión de modo de falla a). 3B2 y b). 3B3.

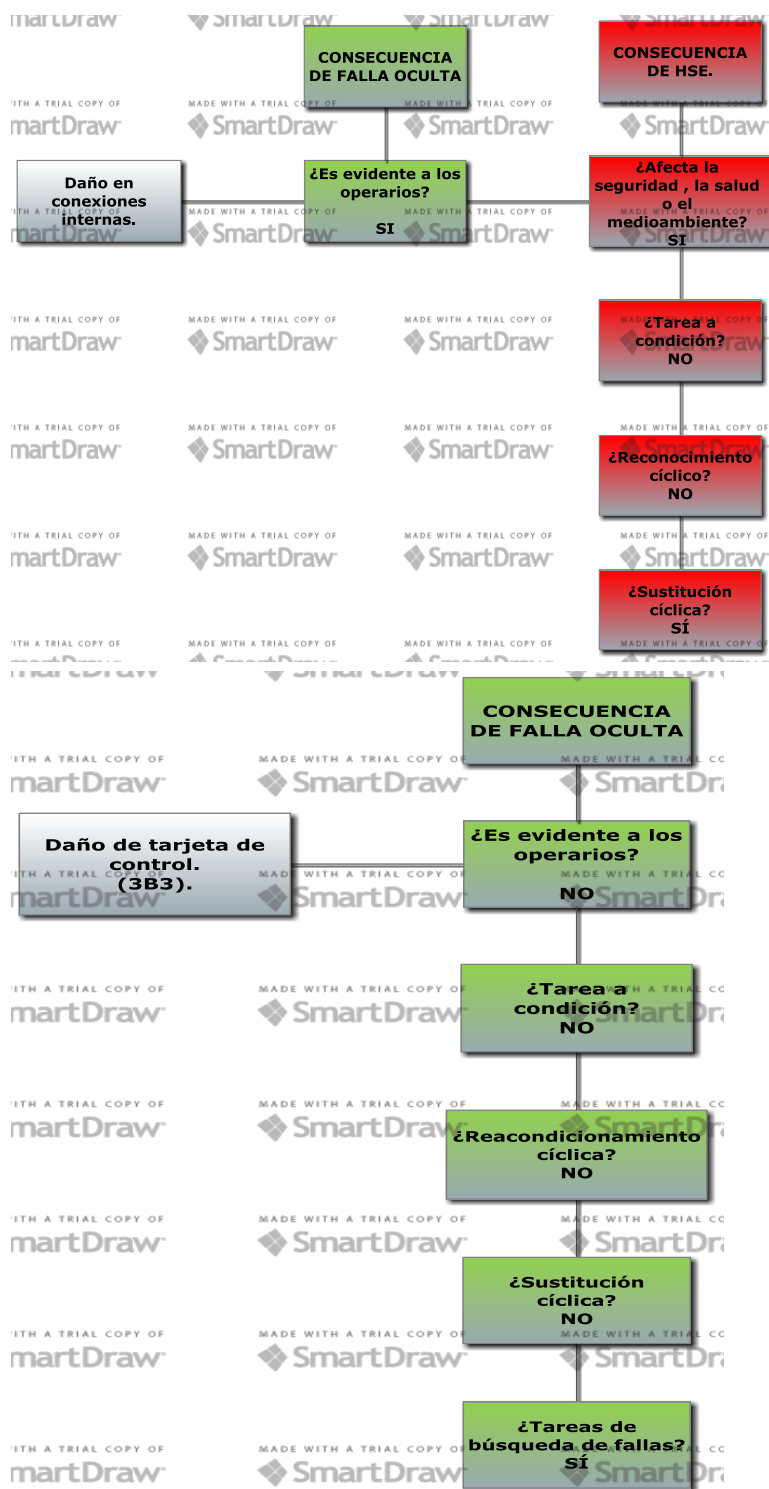


Figura 23. Diagrama de decisión de modo de falla 3B4.



Figura 24. Diagrama de decisión de modo de falla 4A1.

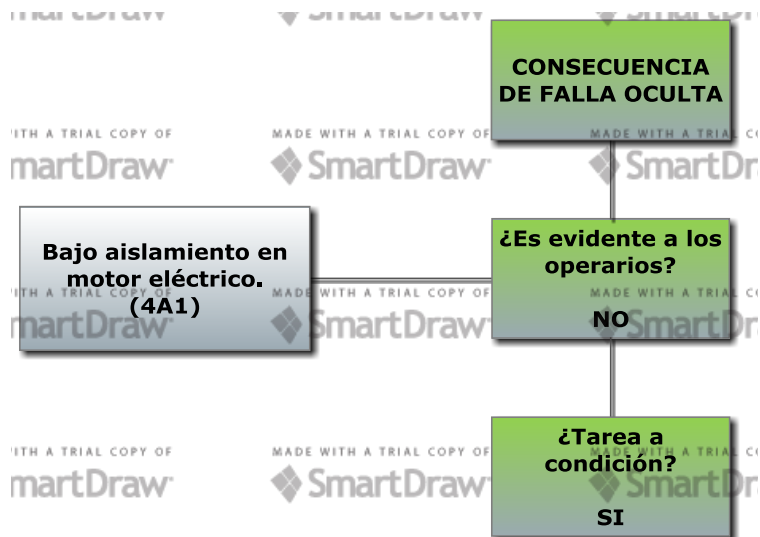


Figura 25. Diagrama de decisión de modo de falla 4A2.

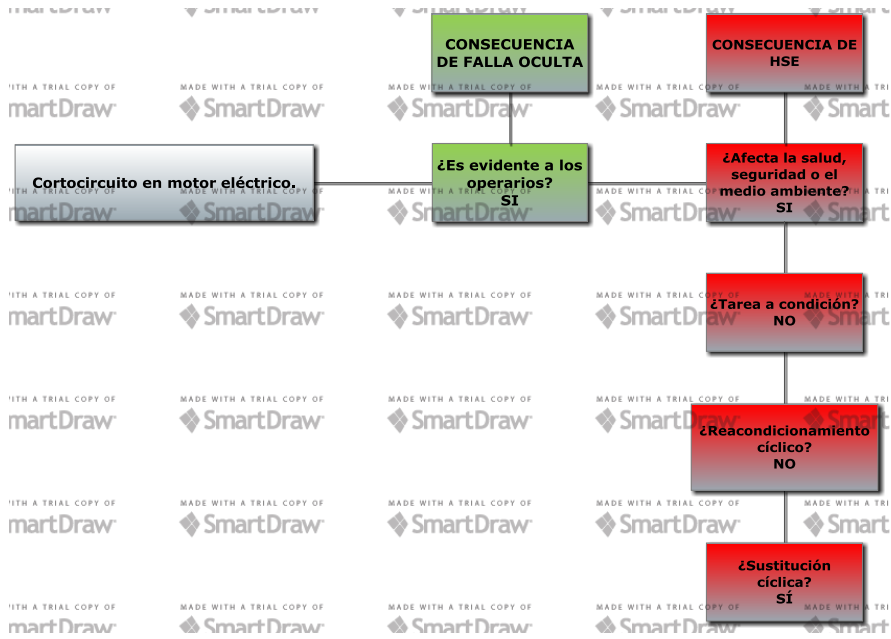


Figura 26. Diagrama de decisión de modo de falla 4A3.

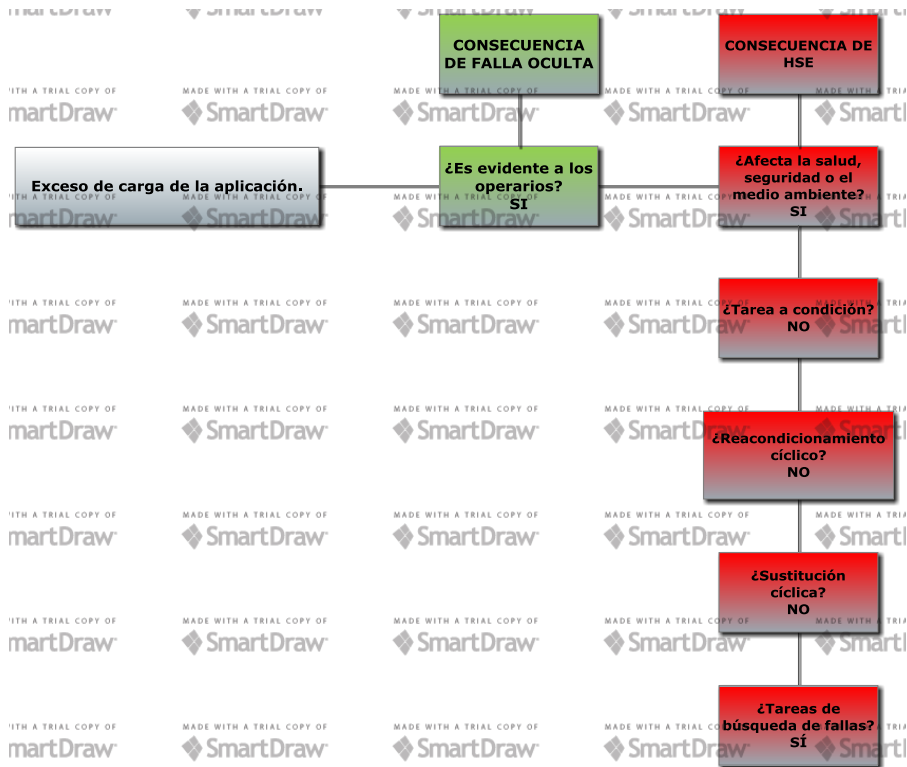


Figura 27. Diagrama de decisión de modo de falla 4D1.

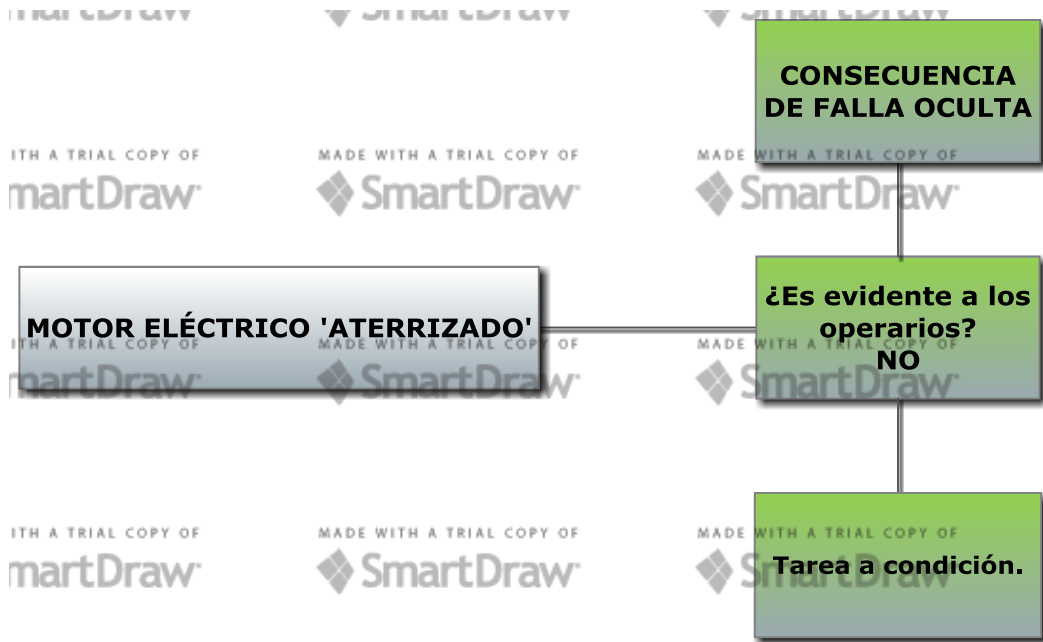


Figura 28. Diagrama de decisión de modo de falla 4D2.

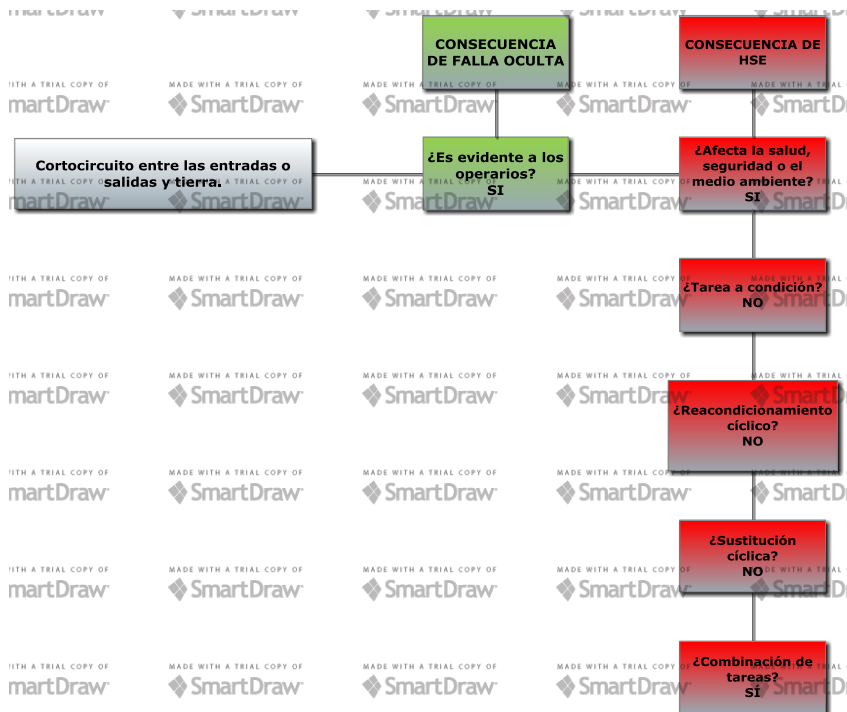


Figura 29. Diagrama de decisión de modo de falla 5A1.

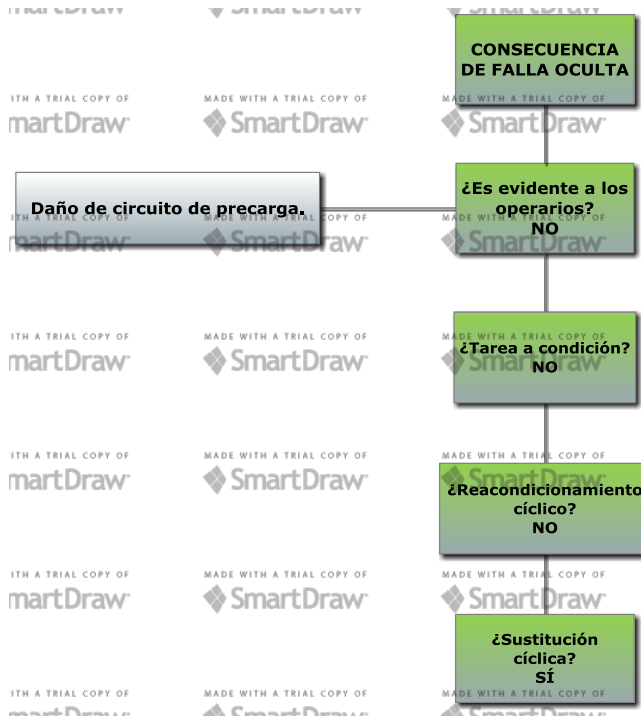


Figura 30. Diagrama de decisión de modo de falla 5A2.

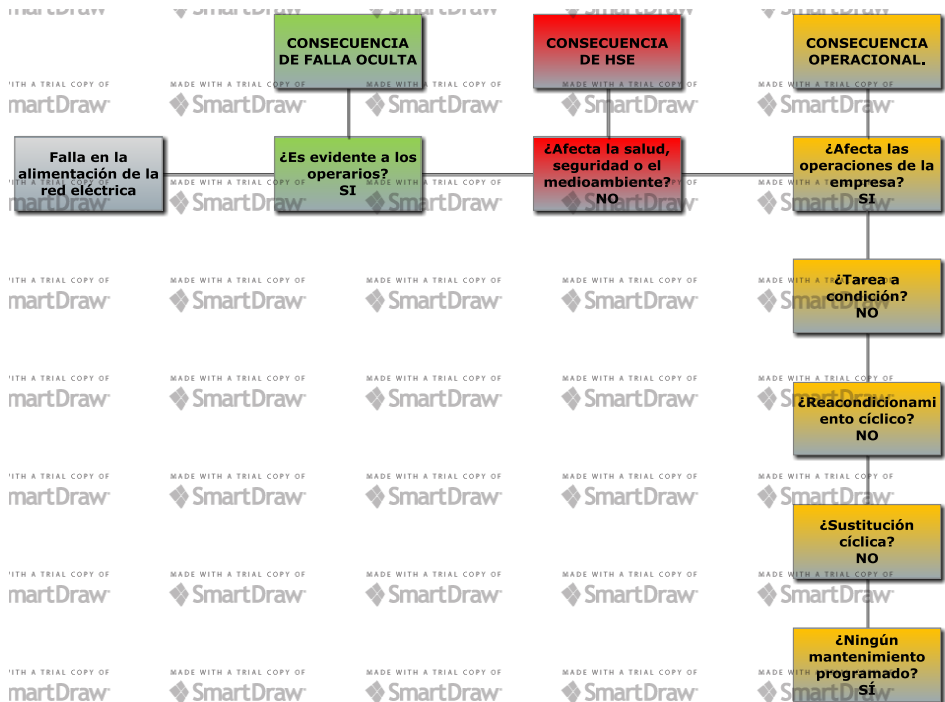


Figura 31. Diagrama de decisión de modo de falla 5B1.

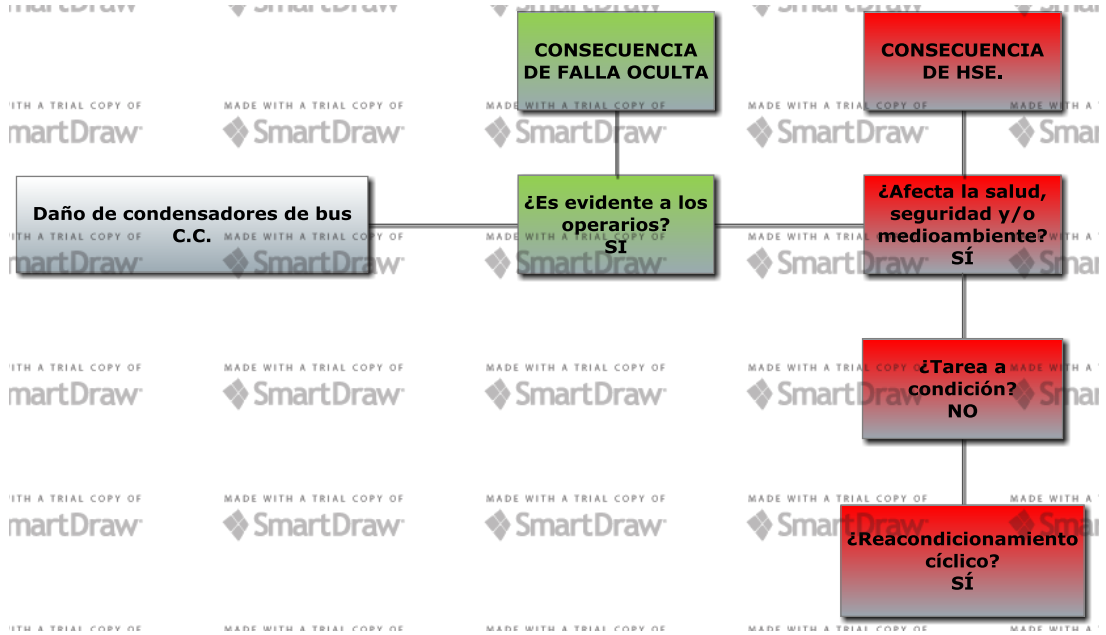


Figura 32. Diagrama de decisión de modo de falla 5C1.

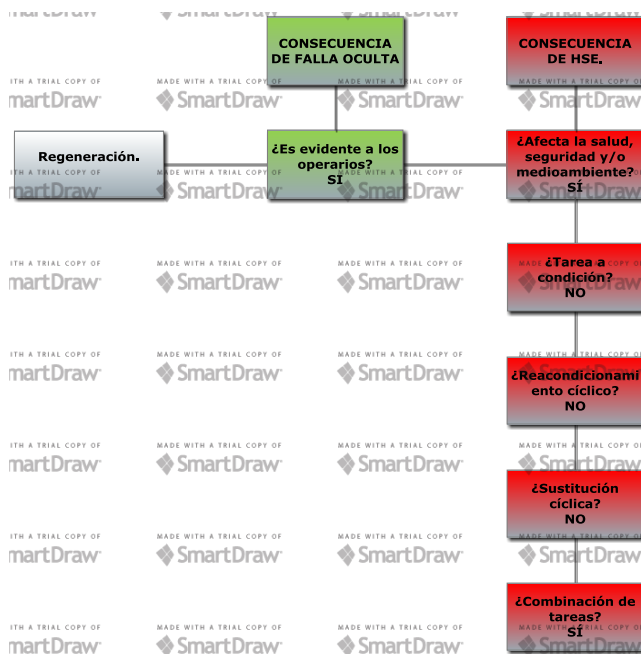


Figura 33. Diagrama de decisión de modo de falla 5C2.

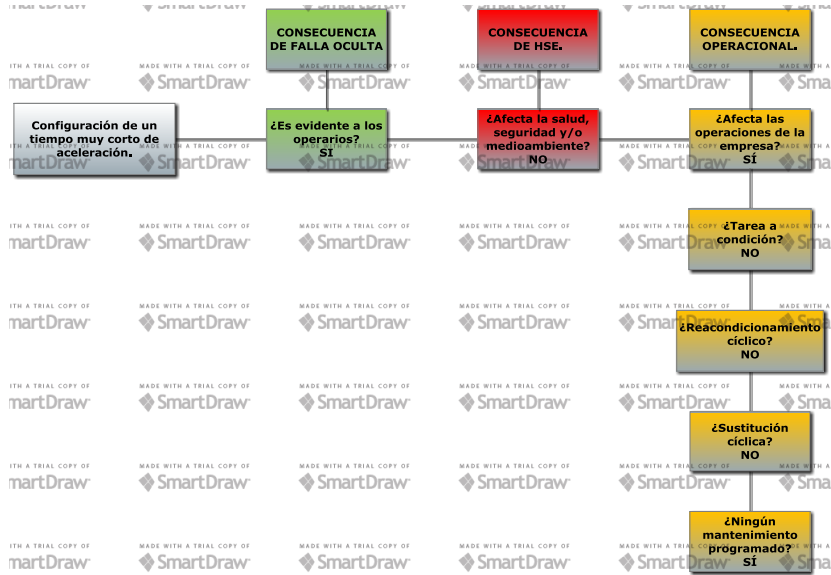


Figura 34. Diagrama de decisión de modo de falla 6A1.

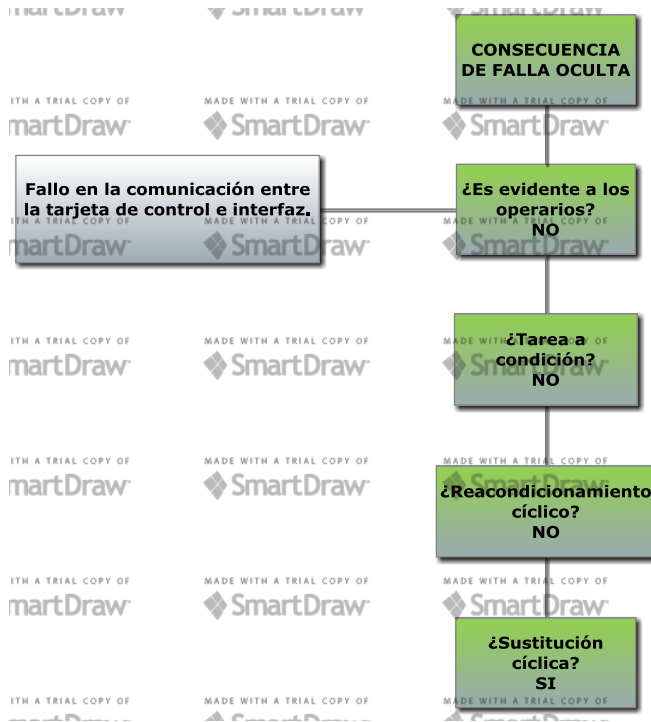


Figura 35. Diagrama de decisión de modo de falla 6A2.



Figura 36. Diagrama de decisión de modo de falla 6A3.

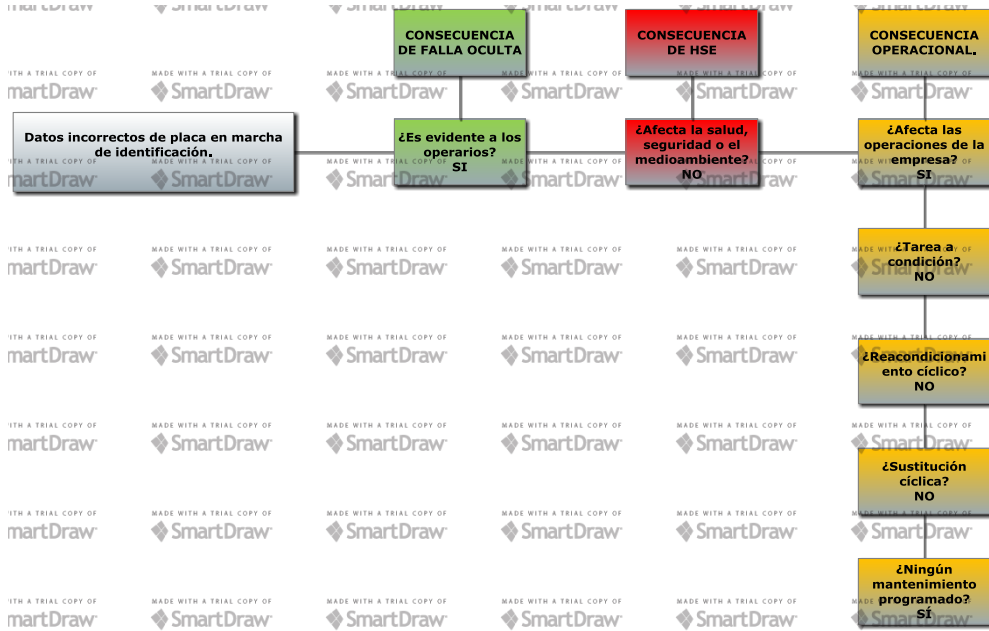
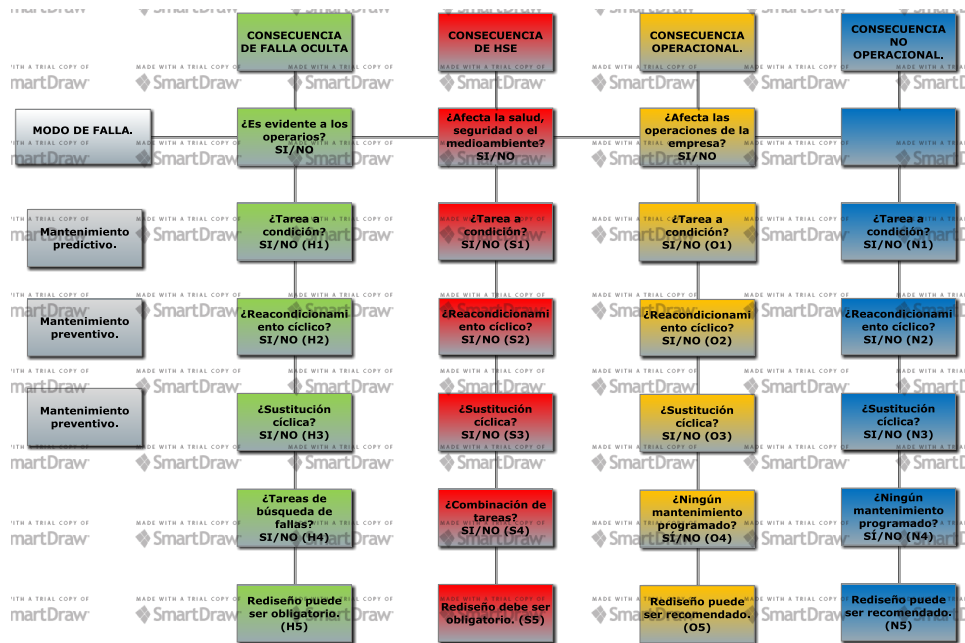


Figura 37. Formato de diagrama de decisión.



Fuente: [14] Apuntes de clases de gerencia de mantenimiento II. Ing. Nelson Rojas.

7.3.1. AMEF (ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA)

En cada diagrama de decisión se analizaron no solamente las acciones a proponer, sino también las consecuencias que pueden tener. Seis de los diecinueve modos de falla tienen consecuencias que afectan la salud, seguridad y/o medio ambiente, por lo tanto, también se utiliza la herramienta AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla). Este análisis se encuentra en los anexos.

Las consecuencias que afectan la salud, la seguridad y/o el medioambiente están relacionadas con los siguientes componentes/sistemas del variador de frecuencia, independientemente del fabricante, en este caso ABB o WEG:

- Circuito inversor: Compuesto de los IGBT, tarjetas de disparos y tarjeta interfaz.
- Conversor C.A. a C.C.: Compuesto de puente rectificador, banco de condensadores y circuito de precarga.

Se tuvo en consideración que una de las consecuencias de los modos de falla elegidos para este análisis era conato de incendio, las corrientes nominales de los variadores a los cuales se ha prestado servicio en la compañía oscilan entre 5 y 800 amperios, hay una alta probabilidad de incendios.

El daño de un circuito inversor no solamente implica cortocircuitos, sino también un control inadecuado del motor, el motor puede girar inusualmente (ambos sentidos), debido al suministro de corriente de la fuente, en este caso el inversor. Si este modo de falla se presenta cuando el motor está acoplado al sistema, durante el funcionamiento de la máquina respectiva, puede generar lesiones al personal involucrado, desde lesiones leves hasta la muerte. Sin embargo, de las protecciones que se encuentren en las máquinas depende que se generen las lesiones descritas anteriormente.

Se propone una serie de acciones correctoras e implantadas como ejecución y control periódico de termografías, pruebas con osciloscopio, 'reforming' y las sustituciones periódicas respectivas.

Un efecto de falla indirecto que se identifica es la disposición de los componentes dañados, como tarjetas y semiconductores, son dispositivos electrónicos, y algunas veces se hace una disposición incorrecta de residuos electrónicos, por ejemplo, incluirlos en residuos ordinarios, o en la chatarra metálica. Esta es una consecuencia que afecta al medioambiente.

7.3.2. PLANILLA DE DECISIÓN.

Después de realizar este análisis sobre los modos de falla, y previamente obtener la información de tablas y manuales de los fabricantes se procede a proponer en la planilla u hoja de decisión las tareas de mantenimiento. Esta planilla se encuentra en los anexos.

7.3.3. 'REFORMING'.

Este procedimiento se requiere en variadores que han permanecido almacenados desde 6 meses en adelante. Hay diferentes métodos descritos por el fabricante [15] para el 'reforming'. Entre ellos están los equipos que están almacenados durante dos años o menos. Y los que han permanecido almacenados durante dos años o más.

Método 1.

Encienda el variador por dos horas, de acuerdo a su tensión nominal.

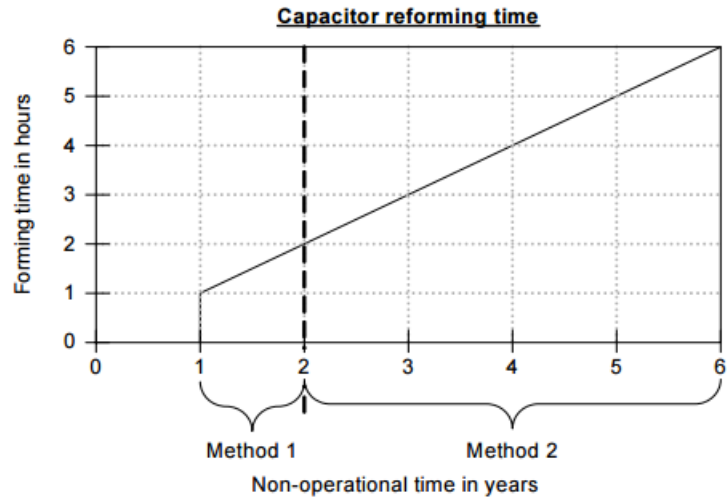
Método 2A.

Conecte los terminales del bus C.C. a un circuito compuesto por un puente rectificador y una resistencia y un condensador durante el tiempo recomendado.

Método 2B.

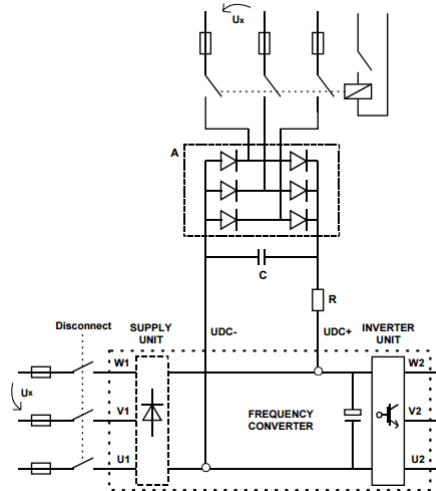
Conecte una fuente variable de 0-600 V C.C. /0-300 V C.C I: 500 m.A. en los terminales del bus C.C., dependiendo de la alimentación, incremente gradualmente desde 0 V C.C hasta la tensión nominal, de 100 en 100 V.C.C.

Figura 38. Tiempo para el 'reforming' de condensadores electrolíticos dependiendo del tiempo de almacenamiento del equipo.



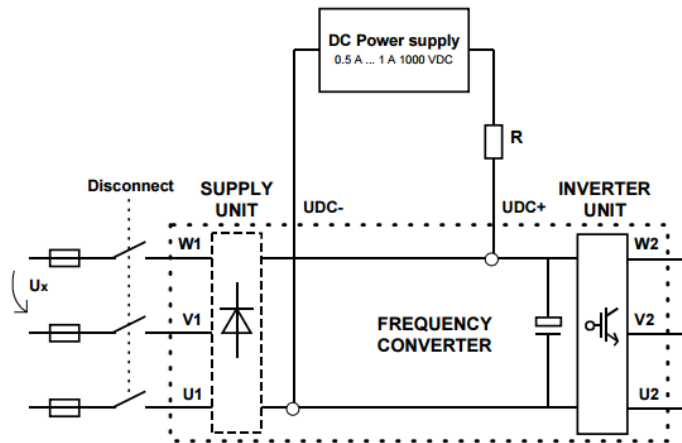
Fuente: [15] ABB Oy (2006) "Capacitor reforming Guide".

Figura 39. Método 2A, para 'reforming'.



Fuente: [15] ABB Oy (2006), "Capacitor reforming Guide".

Figura 40. Método 2B, para 'reforming'.



Fuente: [15] ABB Oy (2006), "Capacitor reforming Guide".

Figura 41. Tabla de componentes recomendados para circuito en método 2A.

	Recommended components		
	A	R	C
$380 \text{ V} < U_x < 415 \text{ V}$	SKD 82/16	220 Ohm / 700 W	22 nF / 2000 V
$380 \text{ V} < U_x < 500 \text{ V}$	SKD 82/16	470 Ohm / 1200 W	22 nF / 2000 V
$525 \text{ V} < U_x < 690 \text{ V}$	SKD 82/16	680 Ohm / 1700 W	22 nF / 2000 V

Fuente: [15] ABB Oy (2006) "Capacitor reforming Guide".

8. FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN

8.1. FUENTES PRIMARIAS.

Las fuentes de información primaria son los manuales de usuario y firmware de los fabricantes de variadores de frecuencia ABB y WEG, en los cuales se encuentran los fallos visualizados en los equipos ACS800, de ABB; y CFW11, de WEG, además de las tablas de soluciones posibles, inspecciones periódicas y rutinas de mantenimiento. El fabricante ABB pone a disposición pública una tabla de las rutinas de mantenimiento para el variador de velocidad (frecuencia) ACS800.

8.2. FUENTES SECUNDARIAS.

La Universidad ECCI es una fuente secundaria para el desarrollo de este proyecto, al entregar las pautas metodológicas y las herramientas académicas necesarias. Las clases de Gerencia de Mantenimiento II, son fuentes de información secundaria, las herramientas y técnicas de RCM fueron suministradas durante el desarrollo de las clases, por el Ing. Nelson Rojas (Docente).

9. ANÁLISIS FINANCIERO.

Los costos estimados están basados en el mercado local de empresas de servicios. Estos costos se enfocaron al sector de cámaras infrarrojas certificadas y bajo el estándar sujeto al clima nacional y cultural, están realizados respecto a la evaluación del estado actual de la maquina los cuales serán beneficios económicos a un futuro de la operación y mantenimiento de la misma.

Tabla. Tabla costos de implementación de propuesta.

PERSONAL				
	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR FINAL
1.1	Hora de servicio de mantenimiento preventivo y/o correctivo a variadores de frecuencia	12	\$110.000	\$1.320.000
1.2	Servicio de mantenimiento predictivo: cámara termográfica.	1	\$1.000.000	\$1.000.000
1.3	Cámara Termográfica FLIR E4	1	\$4.000.000	\$4.000.000
SERVICIOS				
2.1	Fotocopias	1	\$5.000	\$5.000
2.4	Imprevistos	1	\$500.000	\$500.000
2.5	Transporte	1	\$400.000	\$400.000
BIENES				
3.1	Computador	3	\$1.000.000	\$3.000.000
3.2	Impresora	1	\$300.000	\$300.000
3.3	Papelería	1	\$40.000	\$40.000
				\$10.565.000

Beneficios económicos

Los beneficios económicos se podrán reflejar al momento de realizar los respectivos indicadores de mantenimiento.

Disponibilidad e ingreso = tiempo funcionando x costo de servicio

Se debe calcular el ahorro anual y la diferencia en costo beneficio, para encontrar la ganancia de la implementación de la propuesta.

CALCULO DEL ROI

Se hace un ejemplo de los costos de un variador fuera de funcionamiento.

Costo fuera de servicio = 1.200.000/ hora (Valor promedio)

Tiempo de espera arreglo de falla = 32 horas (4 días)

32 horas x \$1.200.000 = \$ 38.400.000 / mes

Falla presentada una vez en tres meses.

$\$38.400.000 \times 4 = \$153.600.000$ costo falla por año por cada variador de frecuencia.

Aplicando mantenimiento predictivo con cámara termográfica:

El tiempo de espera en arreglar la falla será de 12 horas esto es igual a un 86% de ahorro en el tiempo de mantenimiento.

12 horas x \$1.200.000 = \$ 14.400.000 / mes

Falla presentada una vez cada tres meses

$\$14.400.000 \times 4 = \$57.600.000$ costo falla por año

Ahorro anual = operación y mantenimiento sin implementación de mantenimiento con cámara termográfica = operación y mantenimiento con mantenimiento predictivo con cámara termográfica

Ahorro anual = $\$153.600.000 - \$57.600.000 = \$96.000.000$

ROI

$$ROI = \frac{\text{costo de implementación}}{\text{ahorro anual}} = \frac{10.565.000}{96.000.000} = 0,11 \text{ año}$$

$$ROI = 0,11 \text{ año} \times \frac{4 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 0.44 \text{ meses}$$

Tabla 9. Cálculo del ROI (ROI-Simple)

Cálculo del ROI (ROI-Simple)	
Ingresos netos producidos por la inversión	96.000.000
Gastos netos (y-o importes invertidos)	10.560.000
ROI en %	900%
ROI en \$	9.09

El retorno de inversión cuando el ingreso anual es \$96.000.000 y la inversión anual es de \$10.560.000 es igual a 900%

Por cada peso invertido se obtienen \$9009 pesos de retorno

10. TALENTO HUMANO.

En caso de ser implementada esta propuesta, es necesario contar con un equipo humano, que además de contar con todas las habilidades técnicas, laborales y profesionales, también cuente íntegramente con habilidades personales como facilidad de comunicación con otros, liderazgo, trabajo en equipo, actitud de servicio al cliente. De parte de la(s) compañía(s), se debe generar un clima laboral adecuado y desarrollar las personas, no solamente estar enfocados en el cargo o puesto de trabajo. La formación académica también debe tenerse en cuenta, a la hora de conformar el puesto de trabajo.

A continuación se describen los perfiles de los miembros del equipo de trabajo:

10.1. Ingeniero de servicio

Área: Ingeniería.

Dependencia: Gerencia Técnica.

Formación académica: Profesional en Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica, Electromecánica.

Experiencia: Mínimo un año.

Funciones: Supervisión de servicios de mantenimiento, generación de informes y protocolos, ejecución de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, toma de decisiones sobre diagnósticos, capacitación a equipo de trabajo, asesores comerciales y/o clientes.

Habilidades y aptitudes: Selección de equipos, conocimiento y/o diseño de aplicaciones con variadores, capacidad de análisis, habilidades técnicas, liderazgo, trabajo en equipo, habilidades comunicativas, creatividad.

10.2. Técnico electricista/electrónico/electromecánico:

Área: Ingeniería

Dependencia: Ingeniería de Servicios.

Formación académica: Técnica en electricidad y/o electrónica industrial.

Experiencia: Mínimo un año.

Funciones: Ejecución de mantenimiento preventivo y correctivo, generación de diagnósticos, cumplimiento de normas de seguridad, registro diario de actividades, apoyo a ingeniero de servicio.

Habilidades y aptitudes: Toma de decisiones de acuerdo a procedimientos, manuales, catálogos, entre otros, trabajo en equipo, liderazgo, habilidades comunicativas.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. . [MG22]

- Se concluye que los variadores de frecuencia son muy importantes en los procesos de producción.
- Se estructuró una propuesta de mantenimiento para variadores de frecuencia basado en las técnicas y herramientas de RCM2.
- El uso de herramientas de RCM2 no son exclusivas solamente para plantas de manufactura, sino también tiene un alcance más amplio.

12. BIBLIOGRAFÍA^[MG23]

[1] ÁLVAREZ PULIDO, Manuel. (2000) “Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR”.

[2] ABB Drives (2011). “Technical Guide Book”.

[3] Gómez, Angélica; Jolianis, Liliana. (2011). “Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para el Sistema eléctrico de baja tensión que suministra energía a los pozos productores pertenecientes a la Superintendencia de operaciones de Mares-Gerencia Regional del Magdalena Medio.- ECOPETROL S.A.” Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander.

[4] Bolaños, Carlos; Portilla, Alex. (2012). “Arrancador Suave para motores trifásicos de inducción”. Escuela Politécnica Nacional. <http://bibdigital.epn.edu.ec/> (Quito, Ecuador).

[5] WEG. (2014) “Catálogo Automatización Arrancadores Suaves”.

[6] García, Manuel; Fernández, Manés; Orcajo, Gonzalo. (2000) “Técnicas de mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas”.

[7] Cárcel, Javier. (2014) “La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial”.

[8] Moubray, John. (1991) “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”.

[9] Sexto, L. (2006). “NT 109. Análisis de la confiabilidad humana”. Centro de Estudio en Ingeniería de Mantenimiento. División de Ingeniería de las Vibraciones, Ruido y Diagnóstico. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”. Ciudad de La Habana, Cuba.

[10] UNIVERSIDAD ECCI, (2009). “GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN”

[11] ABB, Oy. (2011) “ACS800 –Manual de Firmware. Programa de Control Estándar 7.x del ACS800”.

[12] WEG (2013), “CFW11. Manual de Usuario”.

- [13] https://library.e.abb.com/public/bd611f8df36040e79b320554b1252dfb/ACS800-Maintenance-schedule_4FPS10000223379_rev-K.pdf. ABB Oy. Fecha y hora de la consulta: 21-11-2016.
- [14] Apuntes de clases de gerencia de mantenimiento II. Ing. Nelson Rojas.
- [15] ABB Oy (2006) “Capacitor reforming Guide”.
- [16] Taverner, Luis (2014) “La gestión óptima del ciclo de vida de un variador de velocidad”. VI Jornada sobre tecnologías y soluciones para la automatización industrial. Vigo, Pontevedra- España, del 3 al 7 de Noviembre de 2014.
- [17] ABB (2014) “Fundamentos del mantenimiento preventivo”. E-learning.
- [18] Escobar, Vladimir; Gallego, Ronald. (2011). “Modelo gerencial para la gestión del mantenimiento preventivo de la planta deshidratadora La Cira perteneciente a la superintendencia de operaciones de mares de la Gerencia Regional Magdalena Medio de Ecopetrol S.A.” Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Universidad Industrial de Santander.
- [19] Aguilar, Cristian. (2016). “Incrementar la confiabilidad del variador de velocidad de 1500 KW del ventilador de tiro inducido de la planta de molienda Latacunga, Holcim Ecuador S.A.”. Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.
- [20] Serna, Jhon Jairo. (2016) “Implementación Plan de Mantenimiento Eléctrico para Destilería Riopaila y Riopaila Energía”. Facultad de Tecnología, Universidad Tecnológica de Pereira.
- [21] Rocamora, Carmen. “Gestión Integral del Riego. Explotación y Mantenimiento de Infraestructuras. EFICIENCIA ENERGÉTICA”. Escuela Politécnica Superior de Orihuela (16 a 18 de Junio de 2015). XXXIII Congreso Nacional de Riegos, Valencia, España.
- [22] Vélez, Héctor Adolfo. (2016) “Estudio de Causa de Falla en Variadores de Frecuencia bajo ambientes industriales”. Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C. Informe de Pasantía para Rockwell Automation.
- [23] Montes, Milágfred. (2010). “Influencia de las descargas atmosféricas sobre el sistema eléctrico en baja tensión de los pozos asociados a los campos Bare y Arcuna pertenecientes al Departamento San Tomé, División Faja del Orinoco.” Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Electricidad, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui.

[24] Bautista, Guillermo; Cano, Camilo. (2013), "Selección de los variadores de frecuencia en el control de velocidad de motores eléctricos". Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad Veracruzana, México.

[25] Strangas, E.G., Wagner, V.E., Unruh, T.D. (1996) "Variable Speed Drives evaluation test", en conferencia de aplicaciones industriales, XXXI Encuentro anual IAS, IEEE.

[26] Escandón, Rubén; Zamora César. (2015). "Diseño de una estación semiautomática de mantenimiento, para el desmontaje de rodillos rotos en la empresa Flexa". Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Occidente. Cali.