



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE GESTIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Y PREVENTIVO PARA SENSORES DE NIVEL DE RADAR DE ONDA GUIADA FMP40 Y
FMP51 MARCA ENDRESS + HAUSER EN INGENIO LA UNIÓN, APEGADO A NORMAS UNE**

Erick Geovani Azurdia Ajú

Asesorado por el Ing. José Luis Alfaro Donis

Guatemala, julio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE GESTIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Y PREVENTIVO PARA SENSORES DE NIVEL DE RADAR DE ONDA GUIADA FMP40 Y
FMP51 MARCA ENDRESS + HAUSER EN INGENIO LA UNIÓN, APEGADO A NORMAS UNE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ERICK GEOVANI AZURDIA AJÚ
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ LUIS ALFARO DONIS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. José Antonio de León Escobar
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE GESTIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO PARA SENSORES DE NIVEL DE RADAR DE ONDA GUIADA FMP40 Y FMP51 MARCA ENDRESS + HAUSER EN INGENIO LA UNIÓN, APEGADO A NORMAS UNE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 26 de septiembre de 2017.

Erick Geovani Azurdia Ajú

Ref. EEPFI-1536-2021
Guatemala, 26 de octubre de 2021

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: **GESTIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO PARA SENSORES DE NIVEL DE RADAR DE ONDA GUIADA FMP40 Y FMP51 MARCA ENDRESS + HAUSER EN INGENIO LA UNIÓN, APEGADO A NORMAS UNE**, presentado por el estudiante **Erick Geovani Azurdia Ajú** carné número **201020328**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes Ingeniería de Mantenimiento.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,



Mtro. José Luis Alfaro Donis
Asesor

Ing. José Luis Alfaro Donis
Ingeniero Electrónico
Colegiado No. 3695

"Id y Enseñad a Todos"



Mtra. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinador de Maestría
Ingeniería de Mantenimiento



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



EEP-EIME-04-2022

El Director de la Escuela de Ingeniería en Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **GESTIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO PARA SENSORES DE NIVEL DE ONDA GUIADA FMP40 Y FMP51 MARCA ENDRESS + HAUSER EN INGENIO LA UNIÓN, APEGADO A LA NORMA UNE**, presentado por el estudiante universitario **Erick Geovani Azurdia Ajú**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director

Escuela de Ingeniería en Mecánica Eléctrica



Guatemala, febrero de 2022

LNG.DECANATO.OI.506.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE GESTIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO PARA SENSORES DE NIVEL DE RADAR DE ONDA GUIADA FMP40 Y FMP51 MARCA ENDRESS + HAUSER EN INGENIO LA UNIÓN, APEGADO A NORMAS UNE**, presentado por: **Erick Geovani Azurdia Ajú**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, julio de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

En agradecimiento por darme salud, sabiduría y fortaleza, por cuidarme, por permitir que se cumplan mis sueños. Por hacerme una persona de bien y por permitirme compartir este acto con mis seres queridos.

Mis padres

Froilan Azurdia Ovalle y Ana Cecilia Ajú de Azurdia, por su amor y apoyo incondicional para cumplir mis metas.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudio.

Facultad de Ingeniería

Por los catedráticos, que forman parte de esta facultad, que se preocupan por transmitir su conocimiento y aman la docencia.

Ingeniero

José Alfaro Donis, por brindarme el apoyo y la oportunidad de realizar mi diseño de investigación. Por el asesoramiento y el tiempo dedicado a la revisión, aporte de ideas y sugerencias.

Mis Padres

Por ser una fuente de inspiración, de lucha, amor, incondicionalidad, respeto y responsabilidad. Por ser tan buenos padres y un gran ejemplo. Por dar todo por mí.

Ingeniero

Carlos Chicol, por ser incondicional y por su desinteresado apoyo durante el trayecto de mi vida universitaria.

Mis amigos

Daniel González, Alvaro Amperez, Brian Chicol, María Fernanda López, Karen Vides y David Barrientos.

Mis compañeros

Con los que compartí alguna experiencia personal o académica. Por el apoyo en el estudio. Por haber hecho de todo esto una gran experiencia. Porque compartimos la frustración y desesperación en cada una de las etapas, aun así, encontramos la fuerza necesaria para superar cada uno de los obstáculos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Sensores LevelFlex FMP40 y FMP51	17
7.1.1. Principio de funcionamiento.....	17
7.1.2. Constante dieléctrica	19
7.1.3. Medición de la interfase	20
7.1.4. Calculo de volumen y masa.....	21

	7.1.4.1.	Tanque esférico.....	22
	7.1.4.2.	Tanque cilíndrico	23
7.1.5.		Protocolo de comunicación HART.....	25
7.1.6.		Funciones de diagnóstico y detección de fallas en los sensores LevelFlex.....	27
	7.1.6.1.	Mensajes de diagnóstico en visualizador local	27
	7.1.6.2.	Codificación de errores.....	28
7.2.		Normas UNE	28
	7.2.1.	UNE-EN 13306.....	28
	7.2.2.	UNE-EN 13460.....	29
	7.2.3.	UNE-EN 15341.....	30
	7.2.4.	UNE 151001.....	31
	7.2.5.	UNE-CEN/TR 15628	31
7.3.		Gestión de mantenimiento	32
	7.3.1.	Mantenimiento.....	32
	7.3.2.	Tipos de mantenimiento	33
	7.3.2.1.	Mantenimiento preventivo	33
		7.3.2.1.1. Mantenimiento predeterminado	34
		7.3.2.1.2. Mantenimiento basado en la condición	34
		7.3.2.1.3. Mantenimiento predictivo.....	34
	7.3.2.2.	Mantenimiento correctivo	35
		7.3.2.2.1. Mantenimiento correctivo diferido.....	35

	7.3.2.2.2.	Mantenimiento correctivo inmediato	35
	7.3.2.3.	Mantenimiento programado	36
7.3.3.		Plan de mantenimiento	36
	7.3.3.1.	Protocolo de mantenimiento	36
	7.3.3.2.	Análisis de fallos	38
	7.3.3.2.1.	Análisis del modo de fallas y efectos.....	38
	7.3.3.2.2.	Árboles de fallos	38
	7.3.3.2.3.	Diagrama de causa y efecto.....	39
7.3.4.		Trazabilidad del mantenimiento	39
	7.3.4.1.	Documentos para el mantenimiento	42
	7.3.4.1.1.	Documentos de la fase preparatoria	42
	7.3.4.1.2.	Documentos de la fase operativa.....	43
	7.3.4.2.	Flujo de documentos	44
	7.3.4.3.	Control de la calidad del mantenimiento	47
	7.3.4.3.1.	Responsabilidades en el control de calidad.....	47
7.3.5.		Administración y control.....	48
	7.3.5.1.	Fuentes de información	50
	7.3.5.2.	Revisión de la información.....	50
	7.3.5.3.	Indicadores de mantenimiento.....	51
	7.3.5.4.	Auditorias.....	52
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	55

9.	METODOLOGÍA	59
9.1.	Diseño de investigación	59
9.2.	Tipo de investigación.....	59
9.3.	Alcances.....	59
9.4.	Variables e indicadores	60
9.5.	Fases de la investigación	60
9.6.	Resultados esperados.....	62
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	63
11.	CRONOGRAMA	65
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	67
13.	REFERENCIAS	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución del problema de investigación.....	16
2.	Comportamiento de ecos del pulso en un tanque	18
3.	Medición de interfase	20
4.	Gráfica de volumen de llenado en un tanque esférico	22
5.	Gráfica de volumen de llenado en un tanque cilíndrico.....	24
6.	Modulación de señal en protocolo HART	26
7.	Mensaje de diagnóstico en módulo de visualización.....	27
8.	El flujo de trabajo del mantenimiento	41
9.	Documentos entrantes y salientes antes de ejecutar las tareas de mantenimiento.....	45
10.	Documentos entrantes y salientes después de ejecutar las tareas de mantenimiento.....	46
11.	Indicadores de volumen de producción.....	51
12.	Indicadores relevantes del mantenimiento	52
13.	Cronograma de actividades	66

TABLAS

I.	Valores para tabla de linealización de un tanque esférico	23
II.	Valores para tabla de linealización de un tanque cilíndrico.....	24
III.	Costo del recurso humano	67
IV.	Costos de la investigación.....	68

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
C_i	Capacitancia inicial
DC	Constante dieléctrica
c.c.	Corriente continua
I/O	Entrada/Salida
Hz	Hercios
m	Metro
m³	Metro cúbico
mA	Miliamperio
L_i	Nivel de interfase
p	Página
ε_r	Permitividad relativa
%	Porcentaje
Q	Quetzales
t	Tiempo
c	Velocidad de la luz

GLOSARIO

Avería	Es la consecuencia de un fallo y el cese total de sus habilidades para realizar su función o tarea asignada.
Campo eléctrico	Región donde interactúan fuerzas eléctricas.
Capacitancia	Es la medida de energía eléctrica que un material puede almacenar para una diferencia de potencial establecida.
Corriente eléctrica	Es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo.
Disponibilidad	Capacidad de un elemento para mantener un estado donde puede realizar correctamente las funciones o tareas asignadas bajo condiciones estimadas.
Eco	Se produce cuando una onda es reflejada y regresa al punto donde fue emitida.
Elemento	Nombre que se le atribuye en esta investigación a cualquier sensor, dispositivo, sistema o equipo.
Fallo	Estado de un elemento, en el cual no se puede realizar correctamente las funciones o tareas asignadas.

Fiabilidad	Capacidad de un elemento para realizar correctamente las funciones o tareas asignadas bajo condiciones estimadas.
Frecuencia	Es el número de repeticiones sobre un tiempo determinado, en el sistema internacional, se mide en hercios, que es igual a la magnitud de las repeticiones sobre un segundo.
Híbrido	Dispositivo, equipo, sistema o protocolo que utiliza dos tipos de tecnologías para su funcionamiento.
Interfaz	Proceso en el cual se transforma señales o datos a una forma visual, amigable para el usuario.
Microprocesador	Circuito integrado encargado del procesamiento de datos digitales, de forma aritmética y lógica.
Relé	Dispositivo análogo que comprende de una bobina y una serie de contactos eléctricos, que conmutan o se abren según el estado de la bobina (activada o desactivada).
Resolución	En instrumentación para dispositivos analógicos es la fracción del intervalo más pequeño que muestra la escala y para dispositivos digitales, es el dígito menos significativo de la escala.

Salida análoga	Señal representada por una función matemática continua, generada por un fenómeno electromagnético.
Señal	Variación continua en el tiempo, de una corriente eléctrica, para señales análogas.
Zafra	Temporada que comprende desde el inicio de la producción de la azúcar de caña, hasta que cesa la producción.

RESUMEN

El presente diseño de investigación se enfoca en presentar una solución a la gestión de mantenimiento realizada a los sensores de nivel de radar de onda guiada, en ingenio la unión. Dentro de la gestión de mantenimiento, no siempre se realizan las tareas de mantenimiento de la mejor forma, o pueden existir mejoras para realizar las tareas de una manera más eficiente, rápida, efectiva y ordenada.

Dentro del fundamento teórico, necesario para la solución propuesta del trabajo de investigación, se encuentra la descripción y fundamentos de los sensores de nivel de radar de onda guiada, los términos relativos al mantenimiento y los pasos para elaborar un plan de mantenimiento. También se mencionan las normas internaciones en las que se apoya la solución propuesta de la investigación.

Las normas mencionadas en el fundamento teórico describen los indicadores del rendimiento del mantenimiento, la mantenibilidad del elemento, también mencionan la documentación necesaria para el mantenimiento y como se puede cualificar el personal de mantenimiento.

1. INTRODUCCIÓN

Ingenio La Unión, ubicado en el kilómetro 101.5 de la carretera a Cerro Colorado, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa del departamento de Escuintla. Se realizó el trabajo de investigación enfocado al desarrollo de la gestión de un plan de mantenimiento para los sensores de nivel de radar de onda guiada, modelos FMP40 y FMP51 de la marca Endress + Hauser.

Los sensores de Nivel, son equipos críticos dentro de la operación correcta de los procesos de evaporación de jugos y refinería. El sensor de nivel también es crítico en el control de estado de los tanques de condensados de gases de efecto, cada efecto es: la etapa a la que el vapor es empleado.

Para el mantenimiento de los sensores de nivel, no se encontró establecido un procedimiento o normas que den el debido seguimiento. Representando un problema, debido a que, no se garantiza el funcionamiento después de la intervención en tareas de mantenimiento por parte del personal del departamento de instrumentación.

Con la investigación se proporciona el conocimiento técnico unificado y simplificado para desarrollar correctamente las tareas de mantenimiento en los sensores de nivel de radar, empleando documentación técnica como manuales de configuración establecidos por el fabricante, calibración y montaje de los sensores de nivel de radar. Al analizar los tiempos en que se realiza el mantenimiento, se tiene como finalidad, aumentar la disponibilidad del personal del departamento de instrumentación, con el fin de poder realizar tareas de

mantenimiento a los demás equipos que se les suministran servicios, que son parte del sistema de producción del Ingenio La Unión.

La metodología se desarrolla en una serie de etapas, la primera se encuentra en la obtención de información, el segundo paso se toma la información recolectada y se selecciona para luego ser transcrita, analizar fallas e interpretarlas. El tercer paso, luego de tener la información de interés, se codifica de manera acorde a las normativas UNE (acrónimo de Una Norma Española) para el mantenimiento. Y por último, dar lugar al cuarto paso donde se integra la información y se establece el plan de mantenimiento para los sensores de nivel además de la propuestas u observación sobre la gestión del mantenimiento.

Los capítulos del índice propuestos para el informe final contemplan:

El capítulo I trata sobre la teoría requerida para el conocimiento y análisis de los sensores de nivel FMP40 y FMP51. En las normativas UNE se enfoca sobre la norma 13460:2009 *Mantenimiento. Documentos para el mantenimiento*, que propone una serie de documentación técnica necesaria para el mantenimiento. En la gestión de mantenimiento se presenta los puntos a evaluar sobre el actual plan de mantenimiento y teoría sobre el análisis de fallas.

En el capítulo II se describe el proceso de recolección de información necesaria para el desarrollo del plan de mantenimiento. También el proceso de elaboración de la documentación de mantenimiento, seguido de la fase de configuración y puesta en marcha, donde se toman equipos de muestra y se estudia su comportamiento.

En el capítulo III se presenta los resultados obtenidos en la observación de los equipos de muestra, donde se emplean los lineamientos de la documentación técnica elaborada, así determinar la efectividad de la documentación del plan de mantenimiento en las labores de mantenimiento y reducción de fallos.

El capítulo IV se presenta la propuesta del trabajo de investigación para el plan de mantenimiento y los resultados de la gestión de mantenimiento para los sensores de nivel de radar de onda guiada. Así como: la documentación de mantenimiento, además de las conclusiones y recomendaciones que determina la investigación.

2. ANTECEDENTES

Respecto a la calibración de instrumentación electrónica, Quintero (2011) indica que el conocer y memorizar todos los pasos específicos para la calibración de transmisores es muy tedioso. Por lo que es común, el olvido en algún paso durante la calibración o no se calibra el transmisor correctamente, como consecuencia, los sensores no funcionan correctamente. Al no funcionar correctamente, se incrementa el tiempo de calibración, debido a que: se revisa cada parámetro de configuración por lo menos dos veces. Es necesario tener un documento que incluya cada uno de los pasos para la calibración para poder seguirlos y así, evitar confusiones.

Entre los objetivos de la gestión de mantenimiento, Donis (2015) menciona que se debe mejorar y optimizar el funcionamiento de los equipos, incrementar su vida útil, mantener una continuidad en planta y reducir los costos de mantenimiento. Además, resalta que, la documentación para el mantenimiento es esencial para que el personal de mantenimiento conozca cómo se deben de realizar las tareas de mantenimiento; por otro lado, el control, seguimiento y revisión del historial de mantenimiento, es necesario para un mejor control de las tareas de mantenimiento a programar.

En relación a la documentación de mantenimiento, cuando es escasa, Espinoza (2014) muestra que no permite realizar de forma correcta las tareas de mantenimiento preventivo. Por lo que, los equipos a pesar de ser nuevos, se encuentran en un estado crítico de mantenimiento; consecuencia de la mala gestión de mantenimiento efectuada. Para evitar estas condiciones en los

equipos se requiere la elaboración e implementación de un plan de gestión de mantenimiento, apoyada fundamentalmente en la recopilación de información sobre los equipos. Es muy importante mantener el registro de las actividades de mantenimiento, fundamental para el desarrollo de las futuras actividades de mantenimiento, además de que permite garantizar el funcionamiento del equipo.

La degradación y la indisponibilidad que sufren los equipos, Valdes y San Martín (2009) asegura que afectan negativamente a la productividad, incrementa los costos de mantenimiento y, sobre todo, representan un riesgo para la seguridad de los operarios. Para el desarrollo correcto de un plan de mantenimiento es importante el flujo de información y el contenido de los documentos de mantenimiento. Por último, menciona que es importante contar con una aplicación informática para la gestión de mantenimiento y un adecuado seguimiento a los indicadores de mantenimiento, con el fin de cumplir con los objetivos de la empresa y el correcto desarrollo de la gestión de mantenimiento.

En cuanto a la planificación del mantenimiento preventivo Sanchez (2006) se basa en el control y monitoreo a través de un *software* de mantenimiento. Establece que es fundamental el uso de un *software*, especializado para la gestión del mantenimiento, por ser la base de la administración del departamento de mantenimiento. Se utiliza el *software*, con el fin de optimizar el funcionamiento del departamento. También hace énfasis en la planificación del mantenimiento, que influye directamente en la disponibilidad de los elementos, reducción de paradas no planificadas, costos de operación, costos de mantenimiento, aumento de la producción; Y que al final en conjunto, influyen en el desarrollo del nivel y calidad de la empresa.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Ingenio La Unión durante el proceso de producción de azúcar y otros derivados de la caña de azúcar, se realiza la medición de nivel de líquido en una gran cantidad de etapas del proceso de fabricación de azúcar y refinería. En el presente trabajo de investigación, para los sensores de nivel de radar de onda guiada, se identificaron sus aplicaciones en los siguientes tres procesos: tanques de condensado, evaporadores y tanques de mieles. La medición de nivel de líquido en los tres procesos anteriores, forma parte de una variable de instrumentación, que es necesaria para el correcto funcionamiento y seguridad de los procesos mencionados, donde se involucra la medición de nivel de líquido en la planta.

En los tres procesos anteriores, para obtener un valor en la variable de instrumentación de nivel de líquido, se realiza la medición con un sensor de nivel del tipo radar por onda guiada. Los modelos del sensor de nivel de radar por onda guiada son: FMP40 y FMP51 marca Endress + Hauser. Los sensores de nivel FMP40 y FMP51 constan de dos partes principales: Transmisor y Sonda. El Transmisor de los sensores FMP40 y FMP51 integra 3 módulos que son: Entradas y Salidas (*I/O, Input/Output*), Pantalla de Visualización (*Display*) y Electrónica de control.

La sonda parte de los sensores de nivel de radar de onda guiada, es una varilla metálica que utiliza el transmisor para emitir de forma guiada las ondas de alta frecuencia necesarias para la medición de nivel. Cuando se produce incrustación, sobre su superficie debido al enfriarse el residuo de jugo de la caña

de azúcar, cuando se procede a vaciar el tanque donde se encuentra la sonda; La varilla metálica presenta problemas en la medición de nivel, provocando que el transmisor envíe señales erróneas a la lógica de control.

Al emitir señales erróneas el transmisor del sensor de nivel (debido a las incrustaciones por el jugo de caña de azúcar) se debe de realizar un paro no programado y proceder a la limpieza de la sonda. Es importante resaltar que no se encuentra algún procedimiento estándar que indique la forma correcta de montaje y desmontaje del sensor de nivel de radar de onda guiada, tampoco que indique que herramientas de montaje, sujeción y limpieza son adecuadas para realizar las tareas de mantenimiento. Consecuentemente no se posee una causa directa que indique como detectar las fallas o cuando crear procedimientos adecuados de mantenimiento.

Cuando el módulo de electrónica de control falla, se sustituye; se debe de poner en marcha el sensor de nivel nuevamente, es decir, se debe de calibrar y configurar para la aplicación que desea realizarse. El historial de reparaciones de los sensores de nivel, muestra que después de la calibración y configuración del sensor de nivel, de forma inmediata, presenta fallos electrónicos en valores erróneos o ausentes de la señal que envía el transmisor del sensor.

Sobre la configuración y calibración, para el correcto funcionamiento de los sensores de nivel FMP40 y FMP51, se tienen los parámetros de calibración necesarios como: rango, rango de vacío, rango de lleno o distancia de bloqueo. Utilizando los parámetros de configuración y calibración mencionados anteriormente, no se puede asegurar que el sensor de nivel funcione correctamente, produciendo un largo proceso en el diagnóstico de la falla presentada, que puede ser atribuido a un error durante la configuración, configuración incompleta, falta conocimientos técnicos o por la complejidad del

equipo que requiere el uso de funciones de configuración avanzada, según las condiciones de montaje y operación en el proceso donde se encuentre instalado.

Se puede resaltar que, debido a que hay ausencia de procedimientos técnicos para el mantenimiento de los sensores de nivel, se tiene que cada técnico del departamento de instrumentación, realiza el mantenimiento de formas distintas; y como consecuencia de no tener un procedimiento técnico para el mantenimiento, no se permite garantizar el correcto funcionamiento de los sensores de nivel de radar por onda guiada.

Debido a los problemas presentados surge la siguiente interrogante central:

¿Cómo se debe de realizar la gestión del mantenimiento preventivo y correctivo de los sensores de nivel de radar de onda guiada FMP40 y FMP51, para garantizar su correcto funcionamiento?

A su vez, de esta pregunta, surgen las siguientes interrogantes auxiliares:

- ¿Cómo se identifican los fallos electrónicos durante la puesta en marcha y operación de los sensores de nivel FMP40 y FMP51?
- ¿Qué documentación, para el mantenimiento, se deben de considerar en la gestión del mantenimiento correctivo y preventivo de los sensores de nivel FMP40 y FMP51?
- ¿Cómo se debe de realizar la correcta configuración, calibración, montaje y desmontaje de los sensores de nivel FMP40 y FMP51?

4. JUSTIFICACIÓN

Dentro de la línea de investigación de la Maestría de Ingeniería de Mantenimiento, se encuentra la automatización de procesos industriales, donde el control de variables toma como instrumento de medición el sensor de nivel de radar por onda guiada, cuyo objetivo es afianzar la toma de decisiones durante los procesos de evaporación de jugos, en tanques de condensado o en refinería. Además, enfoca la investigación a la administración del mantenimiento, fundamental para la planeación y desarrollo de la gestión de mantenimiento. Las normas internacionales de mantenimiento, que son indispensables para la elaboración del plan de mantenimiento.

También dentro del proceso de elaboración de azúcar y refinería, de forma muy importante, el correcto funcionamiento de los sensores de nivel de radar por onda guiada, ayuda a mantener la calidad del producto de la caña de azúcar y derivados, además de la continuidad del proceso. Por lo que es importante determinar procesos estándar de mantenimiento, determinar y documentar los fallos comunes y como solventarlos, disminuir los tiempos de reparación, unificar los conocimientos técnicos para realizar las tareas de mantenimiento de los sensores.

Es al departamento de electricidad e instrumentación a quién beneficia en primer nivel, para poder cumplir con las metas y objetivos que tienen establecidos como departamento. Al facilitar, unificar y estandarizar los conocimientos de mantenimiento y técnicos, se obtienen beneficios en: una mejor comprensión y correcto desarrollo de las actividades de mantenimiento para los sensores de

radar de onda guiada. Así poder administrar el tiempo para otras tareas de mantenimiento que tiene asignadas los departamentos de electricidad e instrumentación.

El desarrollo del plan mantenimiento permite aplicar directamente, en el área laboral, los conocimientos adquiridos en la Maestría de Ingeniería de Mantenimiento. Compartirlos con el personal del área de instrumentación de Ingenio La Unión. Y dar un valor agregado a las prácticas de mantenimiento que se desarrollan en planta.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar el proceso de Gestión de Mantenimiento preventivo y correctivo, para los sensores de nivel de radar de onda guiada FMP40 y FMP51, marca Endress + Hauser en ingenio La Unión apegado a normas UNE.

5.2. Específicos

- Identificar los fallos electrónicos durante la puesta en marcha y operación de los sensores de nivel FMP40 y FMP51.
- Elaborar documentación para el mantenimiento, según normativa UNE-EN 13460:2009, para la gestión del mantenimiento correctivo y preventivo de los sensores de nivel FMP40 y FMP51
- Establecer la correcta configuración, calibración, montaje y desmontaje de los sensores de nivel FMP40 y FMP51 en base a los parámetros que se establecen en el proceso de investigación.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El sensor de nivel de radar de onda guiada, es un equipo crítico en la planta, por lo que su correcto funcionamiento, es una necesidad a cubrir. Los departamentos de instrumentación y electricidad están a cargo del 60 % de todos los equipos en ingenio La Unión. La cantidad de personal en los departamentos de instrumentación y electricidad, es insuficiente para la detallada realización de las tareas de mantenimiento en toda la planta.

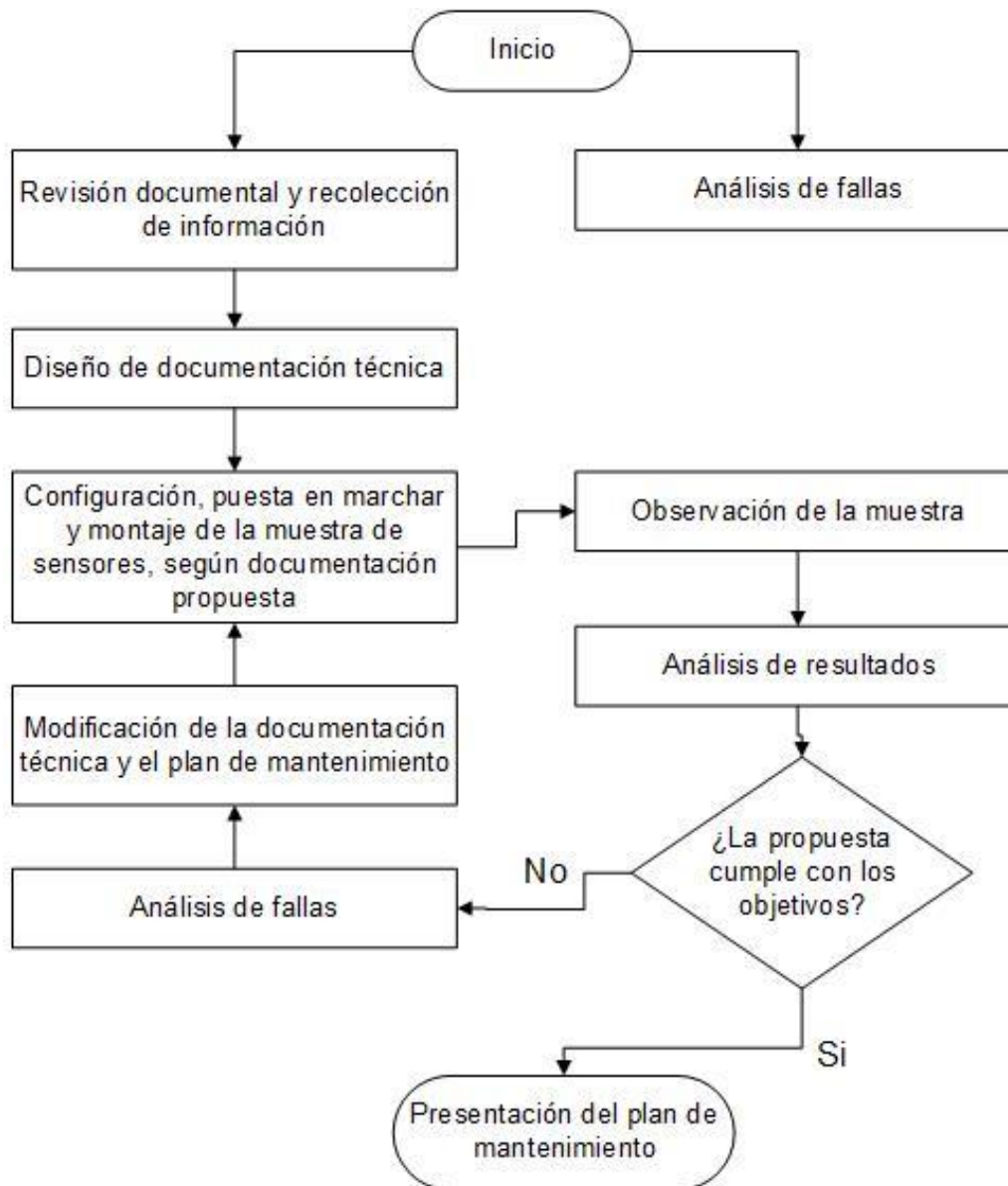
Al finalizar la zafra en el año 2017 y se inicie la temporada de mantenimiento; se agregarán 200 equipos, que estarán bajo la responsabilidad del personal de instrumentación y electricidad, dejando así una mayor carga sobre cada uno de los técnicos de cada departamento.

Al aplicar los conocimientos obtenidos en la Maestría de Ingeniería de Mantenimiento, para dar solución a la problemática presentada, se propone un plan de mantenimiento para los sensores de nivel de radar de onda guiada, que integre el protocolo de mantenimiento, trasladando y unificando los conocimientos necesarios, para la realización óptima, eficaz y rápida de las tareas de mantenimiento a realizar en los sensores de nivel.

El esquema de la solución se presenta en la Figura 1. Como primer punto muestra la parte análisis y revisión de historial de mantenimiento. Para dar lugar a la elaboración de los documentos para el mantenimiento. Necesarios para el mantenimiento de los sensores FMP40 y FMP51. Como parte del plan de mantenimiento es necesaria una retroalimentación, los resultados se presentan

en los indicadores de mantenimiento. Si se cumplen los objetivos del presente trabajo de investigación, se presenta el plan de mantenimiento final.

Figura 1. **Esquema de solución del problema de investigación**



Fuente: elaboración propia, realizado con Visio.

7. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presenta los fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo del trabajo de investigación. Empezando por conocer los principios básicos de funcionamiento de los sensores de nivel FMP40 y FMP51. Seguido de todos los aspectos importantes a considerar durante el desarrollo de una gestión de mantenimiento.

7.1. Sensores LevelFlex FMP40 y FMP51

Dispositivo electrónico que se utiliza para la medición y detección de nivel en tanques o recipientes que contengan líquidos o sólidos granulados. La definición según Creus (2010), “Medidor de nivel basado en la emisión continua de una onda electromagnética que no es influida por la temperatura ni por las variaciones de densidad que puedan existir sobre el líquido” (p. 762).

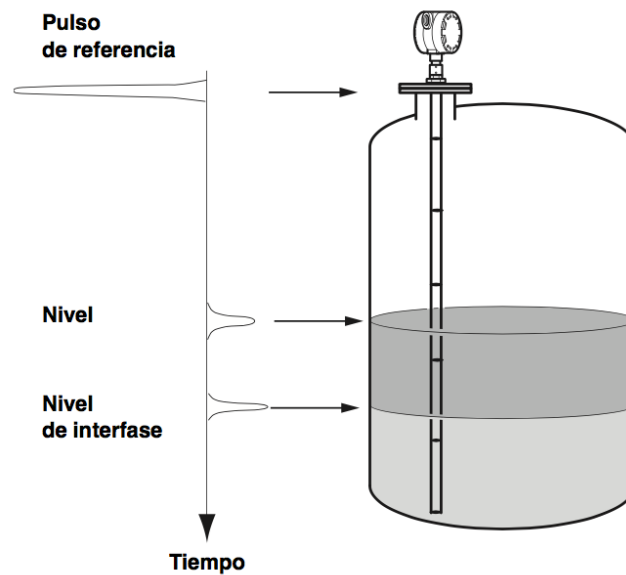
Además entre las ventajas se tiene que, “las mediciones casi no son afectadas por la presión, mezclas de gas vapor, turbulencia, burbujas/ebullición, fluidos de coeficiente dieléctrico variante y viscosidad” (Emerson, 2007, p. 2).

7.1.1. Principio de funcionamiento

El transmisor del sensor de radar, emite una onda electromagnética de alta frecuencia que son guiados por una sonda que puede ser tipo: cable, varilla o coaxial. Respecto a su tecnología según Emerson (2007) “Se basa en la tecnología de reflectometría en el dominio del tiempo” (p. 2). De la onda

electromagnética: “una parte de energía enviada es reflejada en la superficie del líquido y la capta el sensor. El tiempo empleado por las microondas es función del nivel en el tanque” (Creus, 2010, p. 217).

Figura 2. **Comportamiento de ecos del pulso en un tanque**



Fuente: Emerson (2007). *Hoja de datos del producto, serie rosemount 3300.*

En la Figura 2. Se observa que, al tomar el tiempo, en que viaja la onda electromagnética, entre el punto de referencia y el punto donde el pulso es reflejado, se puede calcular la distancia o nivel total.

Fórmula 1. Distancia en función de la velocidad y tiempo

$$D = c * \frac{t}{2}$$

En la guía de mantenimiento de Endress + Hauser (2011), menciona que “La distancia D hasta la superficie del producto es proporcional al tiempo de retorno t del pulso. Donde c es la velocidad de la luz” (p. 16).

7.1.2. Constante dieléctrica

La constante dieléctrica (DC) o permitividad relativa (ϵ_r) tiene un valor característico en cada material. El cual influye en la propagación de la onda electromagnética. “La intensidad de la reflexión depende de la constante dieléctrica del producto. Entre mayor sea el valor de la constante dieléctrica, mayor será la reflexión” (EMERSON, 2007, p. 1). Cuando una onda incide normalmente sobre la superficie de un dieléctrico, parte de la energía se transmite y otra se refleja.

La fórmula 2 se utiliza para encontrar el valor experimental de la constante dieléctrica:

Fórmula 2. Permitividad relativa

$$\epsilon_r = C_x / C_i$$

Donde ϵ_r es la permitividad relativa que se determina de forma experimental.

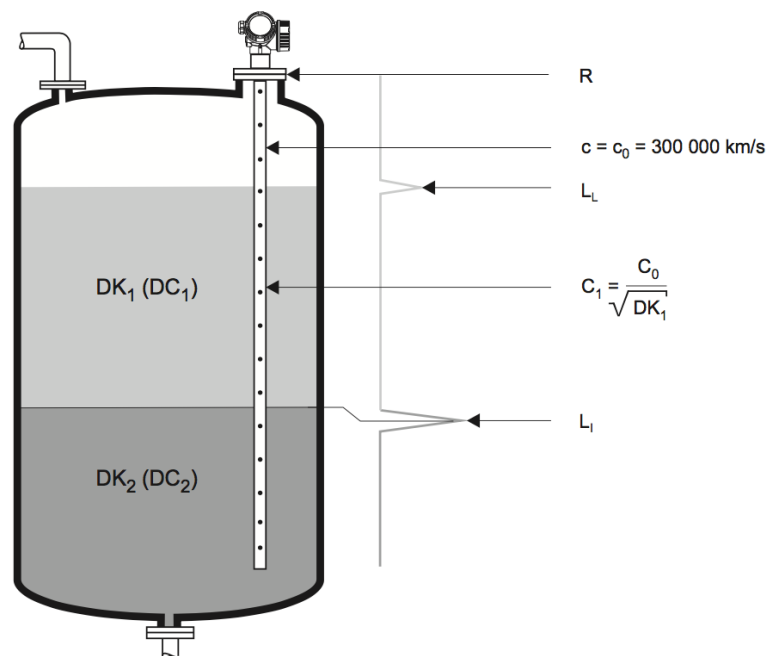
De forma experimental para calcular el valor de la constante dieléctrica en un material: se debe de realizar la medición de capacitancia (que será la inicial “C₀”) de un condensador con vacío u aire entre sus placas. Con el mismo

condensador y la misma separación entre sus placas introducir el material que se desea conocer su permitividad relativa. Medir de nuevo la capacitancia (C_x).

7.1.3. Medición de la interfase

Para medir el nivel de interfase, el transmisor utiliza la onda residual de la primera reflexión. Parte de la onda, que no se reflejó en la superficie del producto superior, continúa hasta que se refleja en la superficie del producto inferior. La velocidad de esta onda depende completamente de la constante dieléctrica del producto superior. (Emerson, 2007, p. 11)

Figura 3. Medición de interfase



Fuente: Endress + Hauser (2013). *Información Técnica Levelflex FMP51, FMP52, FMP54.*

En la Figura 3 se puede observar como en el medio inferior con DC mayor se obtiene una reflexión mayor en el punto o nivel de interfase (L_i). Se obtiene una reflexión menor en el punto o nivel completo (L_L) debido a una DC menor. Haciendo las mediciones desde el punto de referencia (R).

7.1.4. Cálculo de volumen y masa

Es posible realizar el cálculo de unidades de volumen o de masa cuando se activa la función de linealización. En el manual de instrucciones para los sensores FMP51 menciona que, el equipo cuenta con tablas de linealización pre establecidas para tanques de forma: lineal, fondo piramidal, fondo cónico, fondo angulado, cilindro horizontal y esfera (Endress+Hauser, 2012).

La tabla de linealización se forma a partir de la función matemática que describe la forma del tanque, es decir que la fórmula del volumen es en función de la altura del material que almacena el tanque.

Para obtener la masa simplemente es necesario conocer la densidad del material que se almacena en el tanque y con la función de linealizado activada se puede calcular la masa, basada en la siguiente función matemática extraída de Fundamentos de Química:

Fórmula 3. Masa en función de la densidad y el volumen

$$m = \rho V$$

Donde “ ρ ” es el valor de densidad y “ V ” es el volumen. (Burns, 2003)

Se presentan dos ejemplos para la realización de tablas de linealizado, para tanques esféricos y cilíndricos.

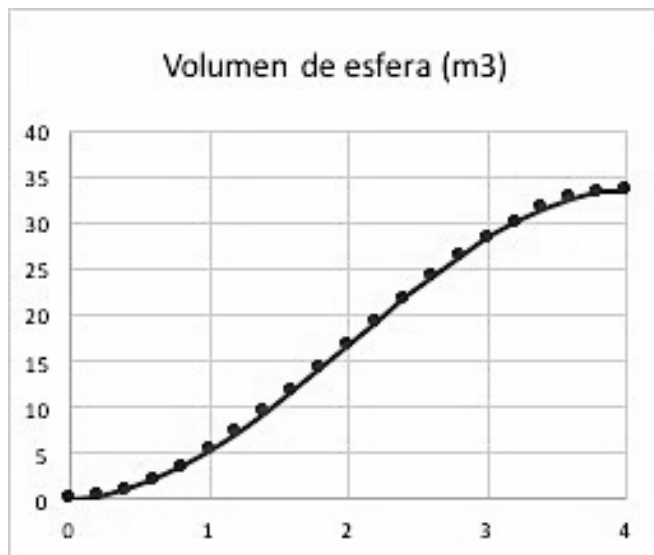
7.1.4.1. Tanque esférico

La fórmula para el valor de volumen en función de la altura de llenado para un casquete esférico es:

Fórmula 4. Volumen en función de la altura para un tanque esférico

$$V = \frac{1}{3}\pi h^2 * (3R - h)$$

Figura 4. Gráfica de volumen de llenado en un tanque esférico



Fuente: elaboración propia, realizado con QtiPlot.

Para el ejemplo del cálculo de la tabla de linealización de 21 puntos para un tanque esférico, la dimensión del radio del tanque esférico es de 2 metros. Los valores calculados se presentan en la Tabla 1. Y la Figura 4 representa la función del volumen que se obtiene según la altura de llenado en el tanque esférico.

Tabla I. **Valores para tabla de linealización de un tanque esférico**

n	h (m)	V (m3)	n	h (m)	V (m3)
1	0.0	0.00	12	2.2	19.26
2	0.2	0.24	13	2.4	21.71
3	0.4	0.94	14	2.6	24.07
4	0.6	2.04	15	2.8	26.27
5	0.8	3.49	16	3.0	28.27
6	1.0	5.24	17	3.2	30.03
7	1.2	7.24	18	3.4	31.47
8	1.4	9.44	19	3.6	32.57
9	1.6	11.80	20	3.8	33.27
10	1.8	14.25	21	4.0	33.51
11	2.0	16.76			

Fuente: elaboración propia.

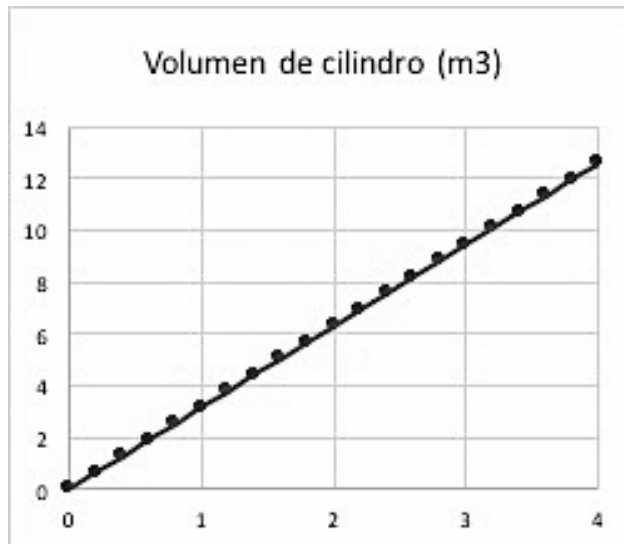
7.1.4.2. Tanque cilíndrico

La fórmula que para el valor de volumen en función de la altura de llenado para un tanque en forma de cilíndrico vertical se define como:

Fórmula 5. Volumen en función de la altura para un tanque cilíndrico

$$V = \pi r^2 h$$

Figura 5. **Gráfica de volumen de llenado en un tanque cilíndrico**



Fuente: elaboración propia, realizado con QtiPlot.

Tabla II. **Valores para tabla de linealización de un tanque cilíndrico**

n	h (m)	V(m3)	n	h (m)	V(m3)
1	0.0	0.00	12	2.2	6.91
2	0.2	0.62	13	2.4	7.53
3	0.4	1.25	14	2.6	8.16
4	0.6	1.88	15	2.8	8.79
5	0.8	2.51	16	3.0	9.42
6	1.0	3.14	17	3.2	10.05
7	1.2	3.76	18	3.4	10.68
8	1.4	4.39	19	3.6	11.30
9	1.6	5.02	20	3.8	11.93
10	1.8	5.65	21	4.0	12.56
11	2.0	6.28			

Fuente: elaboración propia.

Para el ejemplo del cálculo de la tabla de linealización de 21 puntos para un tanque cilíndrico, la dimensión del radio (r) del tanque es de 1 m, y la altura

(h) de 4 m. Los valores calculados se presentan en la Tabla 2. Y la Figura 5 representa la función del volumen que se obtiene según la altura de llenado en el tanque cilíndrico.

7.1.5. Protocolo de comunicación HART

El protocolo HART del acrónimo en inglés *Highway Addressable Remote Transducer*. Es un protocolo híbrido de comunicación, los protocolos híbridos se definen como: “Los que utilizan el estándar analógico de comunicación 4-20 mA c.c., e incorporan, además, un protocolo de comunicación digital” (Creus, 2010, p. 74).

El protocolo de comunicación digital que acompaña al estándar analógico de corriente, es la modulación FSK, del acrónimo en inglés de *Frequency Shift Keying*, traducido al español es modulación por desplazamiento de frecuencia.

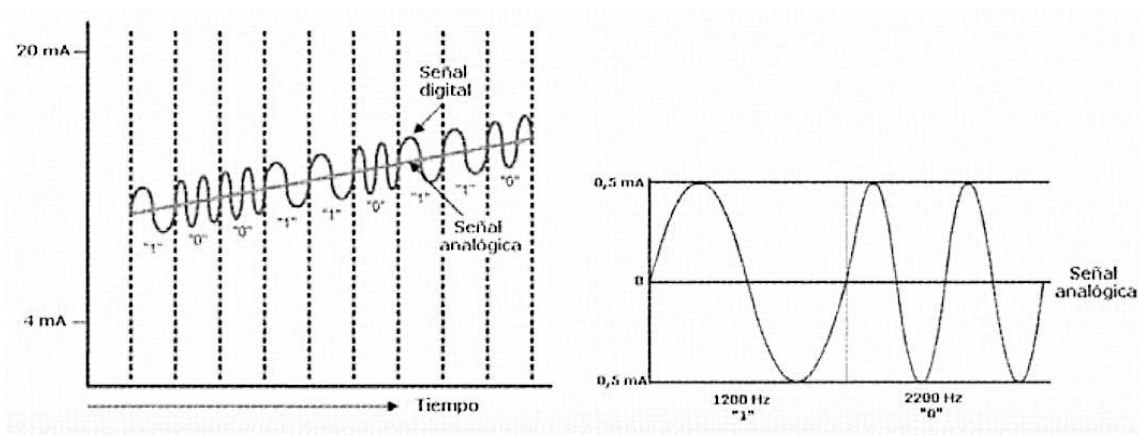
En el esquema de modelado de protocolos de red para el nivel 1 en HART se especifica que:

Conecta físicamente los dispositivos y modula en frecuencia una señal de 0.5 mA de amplitud superpuesta a la señal analógica de salida del transmisor de 4-20 mA c.c. Codifica los estados lógicos 1 y 0 con las frecuencias de 1.200 Hz para el 1 y 2.200 Hz para el 0 en forma senoidal. Como la señal promedio de una onda senoidal es cero, no se añade ningún componente de c.c a la señal analógica de 4-20 mA c.c.. (Creus, 2009, p. 65)

Se puede resumir, tal y como se observa en la Figura 6, que el funcionamiento del protocolo HART utiliza una frecuencia base o portadora, que

se modula en frecuencia por un tren de pulsos, que son los datos binarios o bits de información del protocolo digital sobre el estándar analógico de comunicación (4 a 20 mA c.c.).

Figura 6. **Modulación de señal en protocolo HART**



Fuente: Creus (2010). *Instrumentación Industrial*.

Entre los beneficios del protocolo HART es importante resaltar:

La variable de proceso es la señal analógica, mientras que la digital aporta medidas adicionales (configuración y calibración de instrumentos, diagnósticos, etc.) lo que es una gran ventaja al implantar HART, ya que esta tecnología es compatible con los sistemas existentes. (Creus, 2010, p. 75)

“El protocolo HART soporta hasta 256 variables digitales. Se puede comunicar con múltiples dispositivos HART, hasta 15 en total” (Creus, 2009, p. 66).

7.1.6. Funciones de diagnóstico y detección de fallas en los sensores LevelFlex

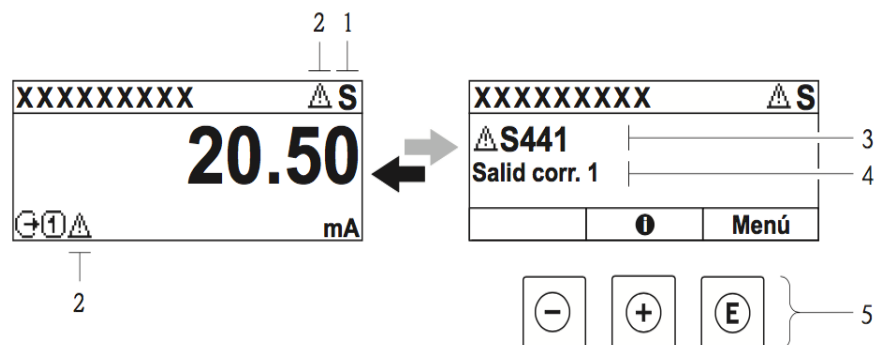
Para la detección de fallas en los sensores levelflex FMP51 cuentan con un sistema de autosupervisión que realiza la función de indicar por medio de un mensaje, en el indicador visual del valor medido, el código de error o de estado. (Endress+Hauser, 2012)

Esto es muy útil para determinar que elemento o configuración presenta un fallo, realizando diagnósticos de forma más precisa y pronta. Reduciendo de la misma forma los tiempos de paro.

7.1.6.1. Mensajes de diagnóstico en visualizador local

Un mensaje de diagnóstico en el módulo de visualización se presenta tal y como se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Mensaje de diagnóstico en módulo de visualización



Fuente: Endress + Hauser (2012). *Manual de instrucciones Levelflex FMP51, FMP52, FMP54.*

Para la Figura 7 la numeración se detalla a continuación: “1. Señal de estado, 2. Símbolo de estado (símbolo indicador del nivel del evento), 3. Símbolo de estado con número de evento de diagnóstico, 4. Texto sobre el evento y 5. Elementos de configuración” (Endress+Hauser, 2012, p. 95).

7.1.6.2. Codificación de errores

Dentro de los mensajes de diagnóstico se presenta el número de evento de diagnóstico. Endress + Hauser los agrupa de la siguiente manera:

- “Fallos del elemento sensor
- Fallos electrónicos
- Fallos relacionados al proceso” (Endress+Hauser, 2012, p. 98).

7.2. Normas UNE

A continuación, se presentan las normas utilizadas durante el desarrollo del presente trabajo de investigación. Las Normas Europeas, EN, fueron aprobadas por el Comité Europeo de Normalización, CEN. Son traducidas al español y publicadas por la Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR. Denominándolas UNE, Una Norma Española.

7.2.1. UNE-EN 13306

AENOR sobre la norma UNE- EN 13306 Mantenimiento – Terminología del mantenimiento menciona que: “Permite conocer con precisión todos los conceptos que se emplean en relación con el mantenimiento industrial, proporcionando un lenguaje común a nivel no solo español, sino internacional” (AENOR, 2011, p. 6).

“El propósito de esta norma europea consiste en definir los términos genéricos utilizados en todos los tipos de mantenimiento y en la gestión del mantenimiento, con independencia del tipo de elemento considerado” (AENOR, 2011, p. 6).

La norma europea, EN 13306:2011 estructura los términos, referentes al mantenimiento, en la siguiente forma, según AENOR (2011):

- Términos fundamentales
- Términos relativos al elemento
- Propiedades de los elementos
- Fallos y eventos
- Averías y estados
- Tipos de mantenimiento
- Actividades de mantenimiento
- Términos relativos al tiempo
- Logística y herramientas de mantenimiento
- Indicadores técnicos y económicos

7.2.2. UNE-EN 13460

Sobre la norma UNE-EN 13460 Mantenimiento – Documentos para el mantenimiento AENOR indica que:

Proporciona una visión muy detallada de la información y su estructura, que es necesario poner en juego para que la gestión del mantenimiento sea posible a todos los niveles del desempeño, proporcionando una relación completa de los recursos de información necesarios para

gestionar un departamento de mantenimiento, adaptándolos a las necesidades concretas de cada usuario. (AENOR, 2011, p. 6)

Sobre el mantenimiento, AENOR menciona que: “como cualquier otra función en la empresa, requiere un flujo de información adecuado entre los diferentes puntos de su organización interna y con el resto de las unidades funcionales y de organización del negocio, para cubrir sus objetivos” (AENOR, 2009, p. 6).

Además, AENOR (2009) define la preparación del plan de mantenimiento para dos fases que son: la fase preparatoria y la fase operativa.

7.2.3. UNE-EN 15341

La normativa UNE-EN 15341 Mantenimiento - Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento, “proporciona un amplio conjunto de medidores de todos los aspectos del desempeño de la función mantenimiento, de los que el usuario podrá tomar los que le resulten más convenientes para medir su gestión” (AENOR, 2011, p. 6).

Sobre los indicadores AENOR menciona que se deben de utilizar para: “medir el estado, realizar comparaciones (referencias internas y externas), realizar diagnósticos, identificar objetivos y definir metas a alcanzar, planificar acciones de mejoras y medir los cambios de manera continua en el tiempo” (AENOR, 2008, p. 6).

AENOR (2008) en la normativa UNE-EN 15341 estructura a los indicadores en tres grupos: económicos, técnicos y organizacionales.

7.2.4. UNE 151001

AENOR (2011) en la publicación de la norma UNE 151001 titulada Mantenimiento - Indicadores de mantenibilidad de dispositivos industriales, Definición y evaluación. Indica el procedimiento para obtener indicadores de mantenibilidad.

La definición de mantenibilidad, según la norma UNE-EN 13306, es: “Capacidad de un elemento bajo condiciones de utilización dadas, de ser preservado, o ser devuelto a un estado en el que pueda realizar una función requerida, cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones dadas y utilizando procedimientos y recursos establecidos” (AENOR, 2011, p. 8).

La normativa define para los dispositivos industriales dos fases en su ciclo de vida, la fase de preparación donde: “la evaluación de los indicadores de mantenibilidad puede ayudar a la mejora del diseño para facilitar su posterior mantenimiento” (AENOR, 2011, p. 4). La segunda fase es la fase de operación donde se evalúan los indicadores de mantenibilidad según “determinadas condiciones de operación y de entorno, que pueden en muchos casos ser cambiantes con el paso del tiempo” (AENOR, 2011, p.4).

7.2.5. UNE-CEN/TR 15628

La norma UNE-CEN/TR 15628 Mantenimiento. Cualificación del personal de mantenimiento, AENOR (2011) comenta que es un documento relativo a la cualificación del personal, los responsables de la gestión empresarial y del mantenimiento en particular, pueden tener una visión de las competencias necesarias y su estructura para organizar un mantenimiento eficiente, desde el punto de vista de los recursos humanos.

7.3. Gestión de mantenimiento

La norma UNE-EN 13306 define la gestión de mantenimiento como:

Todas las actividades de la gestión que determinan los objetivos, las estrategias y las responsabilidades del mantenimiento y la implantación de dichas actividades por medios tales como la planificación del mantenimiento, el control del mismo y la mejora de las actividades de mantenimiento y las económicas. (AENOR, 2011, p. 6)

7.3.1. Mantenimiento

El concepto de mantenimiento la norma UNE-EN 13306 lo define como: “Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida” (AENOR, 2011, p. 6).

El departamento encargado de realizar las acciones mencionadas anteriormente es el departamento de mantenimiento, durante la gestión del mantenimiento, debe definir su estrategia de mantenimiento.

La norma UNE-EN 13306 define la estrategia de mantenimiento como “método de gestión utilizado para lograr los objetivos del mantenimiento” (AENOR, 2011, p. 7).

En el libro Introducción a la gestión de mantenimiento, sobre el departamento de mantenimiento, menciona las tareas que debe de realizar:

Según SEAS (2010):

- Optimización del parque de maquinaria
- Asegurar la calidad del producto
- Garantizar la seguridad de las personas
- Optimización de costes
- Trabajos de mejora y modernización
- Trabajos de renovación y reconstrucción
- Automatización de sistemas
- Instalación y puesta en marcha de nuevos equipos
- Gestión de trabajos subcontratados. (p. 15)

Además, el departamento de mantenimiento es el encargado de: la planificación, asignación del personal, manejo de documentación, mantener una alta disponibilidad de los elementos, gestión de repuestos, herramienta, equipo o materiales.

7.3.2. Tipos de mantenimiento

Se presentan los tipos de mantenimiento, según la clasificación y definición por la norma UNE-EN 13306.

7.3.2.1. Mantenimiento preventivo

La norma UNE-EN 13306 lo define como: “Mantenimiento que se realiza a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios establecidos, y que está destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación del funcionamiento de un elemento” (AENOR, 2011, p. 13).

Es importante aclarar que los intervalos de tiempo predeterminados se establecen a través de los conocimientos que se tienen sobre las fallas y averías que ocurren en los elementos.

7.3.2.1.1. Mantenimiento predeterminado

Definido por la norma UNE-EN 13306 como: “Mantenimiento preventivo que se realiza de acuerdo con intervalos de tiempo establecidos o con un número definido de unidades de funcionamiento, pero sin investigación previa de la condición” (AENOR, 2011, p. 13).

7.3.2.1.2. Mantenimiento basado en la condición

En la norma UNE-EN 13306 está definido como: “Mantenimiento preventivo que incluye una combinación de la monitorización de la condición y/o la inspección y/o los ensayos, análisis y las consiguientes acciones de mantenimiento” (AENOR, 2011, p. 13).

En las inspecciones, análisis o ensayos realizados en este tipo de mantenimiento se pueden mencionar: inspección con los sentidos o VOSO (Ver, Oír, Sentir, Oler), radiografía, termografía, análisis de aceite, líquidos penetrantes entre otros.

7.3.2.1.3. Mantenimiento predictivo

AENOR en la publicación de la norma UNE-EN 13306 lo define como: “Mantenimiento basado en la condición que se realiza siguiendo una predicción

obtenida del análisis repetido o de características conocidas y de la evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento” (AENOR, 2011, p. 13).

7.3.2.2. Mantenimiento correctivo

La norma UNE-EN 13306 lo define como: “Mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida” (AENOR, 2011, p. 13).

La norma UNE-EN 13306, para el mantenimiento correctivo lo define en dos tipos:

7.3.2.2.1. Mantenimiento correctivo diferido

“Mantenimiento correctivo que no se realiza inmediatamente después de detectarse una avería, sino que se retrasa de acuerdo con reglas dadas” (AENOR, 2011, p. 13).

7.3.2.2.2. Mantenimiento correctivo inmediato

“Mantenimiento correctivo que se realiza sin dilación después de detectarse una avería, a fin de evitar consecuencias inaceptables” (AENOR, 2011, p. 13).

7.3.2.3. Mantenimiento programado

Definido por la norma UNE-EN 13306 como “Mantenimiento que se realiza de acuerdo con un programa de calendario establecido o un número establecido de unidades de utilización” (AENOR, 2011, p. 14). Resaltando que puede tener acciones de mantenimiento correctivo diferido.

7.3.3. Plan de mantenimiento

En la norma UNE-EN 13306 se define un plan de mantenimiento como: “Conjunto estructurado y documentado de tareas que incluye las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para realizar el mantenimiento” (AENOR, 2011, p. 7).

IRIM (2015) en su publicación sobre planes de mantenimiento, menciona que para obtener un buen plan de mantenimiento se debe de analizar todos los fallos posibles. Por lo que realizar un análisis de fallas en todos los equipos de la planta es necesario para poder desarrollar el plan de mantenimiento y poder prevenir y evitar los fallos.

Según IRIM (2015) para realizar un plan de mantenimiento se puede basar en el plan de mantenimiento recomendado por el fabricante, protocolos de mantenimiento o realizar análisis de fallos. Con el fin de determinar cada una de las actividades y procedimientos que estructuran el plan de mantenimiento.

7.3.3.1. Protocolo de mantenimiento

Los protocolos de mantenimiento son: “Un protocolo de mantenimiento es un listado de tareas a realizar en un tipo concreto de equipo” IRIM (2015). Las

tareas pueden estar determinadas por las recomendaciones del fabricante o pueden ser establecidas según el tipo de elemento.

El Instituto RENOVETEC de Ingeniería de Mantenimiento indica que para los protocolos de mantenimiento se debe de incluir la siguiente información:

- “Especialidad del trabajo
- Frecuencia con la que debe realizarse
- Duración estimada de la realización de la tarea
- Necesidad de un permiso de trabajo especial
- Si el equipo debe estar parado o en marcha para la realización de la tarea” (IRIM, 2015).

En el protocolo de mantenimiento se deben especificar: el nivel de mantenimiento según su complejidad. La Norma EN 151001 los define en 5 niveles:

- “Nivel 1: Acciones simples de mantenimiento sin parada del dispositivo
- Nivel 2: Acciones de mantenimiento con intercambio de componentes funcionales
- Nivel 3: Identificación y diagnóstico de fallos
- Nivel 4: Revisiones
- Nivel 5: Renovación, reconstrucción y/o reparación importante” (AENOR, 2011, p. 6).

7.3.3.2. Análisis de fallos

La norma UNE-EN 13306 define el análisis de fallos como: “Examen lógico y sistemático de los modos de fallo del elemento y de las causas, antes o después de un fallo, para identificar las consecuencias del fallo, así como la probabilidad de su ocurrencia” (AENOR, 2011, p. 18).

Es necesario determinar los fallos, que se pueden presentar o se presentan en un elemento, para realizar un plan de mantenimiento. Identificar posibles fallos permite prevenir averías, de la misma forma analizar los fallos en un historial de mantenimiento permite la mejora continua en la actualización del plan de mantenimiento.

7.3.3.2.1. Análisis del modo de fallas y efectos

El análisis de modo de fallas y efectos se define, según Duffuaa (2000):

El análisis del modo de falla y efectos (AMFE) es una técnica empleada para cuantificar y clasificar las fallas críticas en el diseño del producto o el proceso. Comprende la identificación de todas las características funcionales y secundarias. Así para cada característica, el AMFE identifica una lista de las fallas potenciales y su impacto en el desempeño global del producto. Asimismo, se estima la probabilidad y la severidad de la falla. (p. 270)

7.3.3.2.2. Árboles de fallos

“Básicamente los árboles de fallo son representaciones gráficas del proceso lógico de las operaciones de un dispositivo” (SEAS, 2010, p. 20).

7.3.3.2.3. Diagrama de causa y efecto

“Puede utilizarse como herramienta para identificar las razones de una eficacia por debajo de la norma en mantenimiento” (Duffuaa, 2000, p. 264). De la causa y efecto Duffuaa menciona que: “El efecto se considera por lo general como la característica de calidad que necesita mejora, y las causas son los factores de influencia” (Duffuaa, 2000, p. 264).

7.3.4. Trazabilidad del mantenimiento

En la publicación de La trazabilidad en el Mantenimiento Industrial, se menciona que la trazabilidad que: “Es aplicable a la gestión del mantenimiento con el propósito de poder hacer una reconstrucción del historial de los cuidados y de las averías de los equipos y para evaluar la administración de los recursos” (Soto, 2015).

Además, sobre el departamento de mantenimiento menciona:

Debe contar con sus propios procedimientos con el objetivo de ordenar de manera lógica sus actividades para tener control de los trabajos y ser más eficientes a la hora de solucionar los problemas en el menor tiempo posible y con el menor costo. (Soto, 2015)

Por último, concluye que: “Los procedimientos que se hacen en el mantenimiento son auditables y requieren ser evaluados periódicamente para prevenir los incumplimientos y de esta manera hacer las correcciones necesarias” (Soto, 2015).

Es importante resaltar que, la documentación en el mantenimiento, es de suma importancia en el desarrollo de una buena gestión de mantenimiento. Así ayudando al personal de mantenimiento a tener un buen flujo de trabajo (ver Figura 8).

La norma UNE-EN 13460 define el flujo de trabajo de mantenimiento como:

Conjunto de pasos secuenciales a seguir, para completar una operación de mantenimiento, desde las primeras actividades preparatorias, tales como el estudio y definición de políticas, hasta el análisis una vez que el trabajo se ha concluido y las acciones a tomar para mejorar casos similares futuros. (AENOR, 2009, p. 7)

Figura 8. El flujo de trabajo del mantenimiento



Fuente: AENOR (2009). *UNE-EN 13460 Mantenimiento – Documentos para el mantenimiento.*

7.3.4.1. Documentos para el mantenimiento

Para la documentación relacionada al mantenimiento la norma UNE-EN 13460 de AENOR (2007) clasifica los documentos para el mantenimiento en dos fases, la preparatoria y la operacional.

7.3.4.1.1. Documentos de la fase preparatoria

Los documentos que se pueden incluir en la fase preparatoria la norma UNE-EN 13460 menciona:

- Datos técnicos
- Manual de operación
- Manuales de mantenimiento
- Relación de componentes y repuestos
- Disposición
- Detalle
- Plano de engrase
- Esquema unifilar
- Diagrama lógico
- Esquema eléctrico desarrollado
- Diagrama de tuberías e instrumentación
- Emplazamiento
- Distribución en planta
- Informes de protocolo de pruebas
- Certificados. AENOR (2009)

7.3.4.1.2. Documentos de la fase operativa

Algunos de los documentos que incluye la norma UNE-EN 13460 para la fase operativa son:

- Índice de documentos
- Registro de activos
- Registro histórico de operaciones de mantenimiento relativas a un elemento
- Orden de trabajo
- Lista de referencias cruzadas de repuestos
- Diagrama de causa-efecto
- Registro histórico de parámetros
- Gráfico de control MTBF-MTTR
- Hoja de planificación
- Hoja de programación
- Planificación de la producción
- Registro histórico de personal
- Registro histórico de costo de mantenimiento
- Organigrama de la empresa
- Niveles de acceso de los usuarios del sistema de información del mantenimiento
- Manual del sistema de información de mantenimiento
- Procedimiento para una actividad genérica de mantenimiento
- Procedimiento para ejecutar actividades críticas de mantenimiento
- Procedimiento para calibración de los equipos de verificación críticos
- Registro de calibración de los equipos de verificación críticos

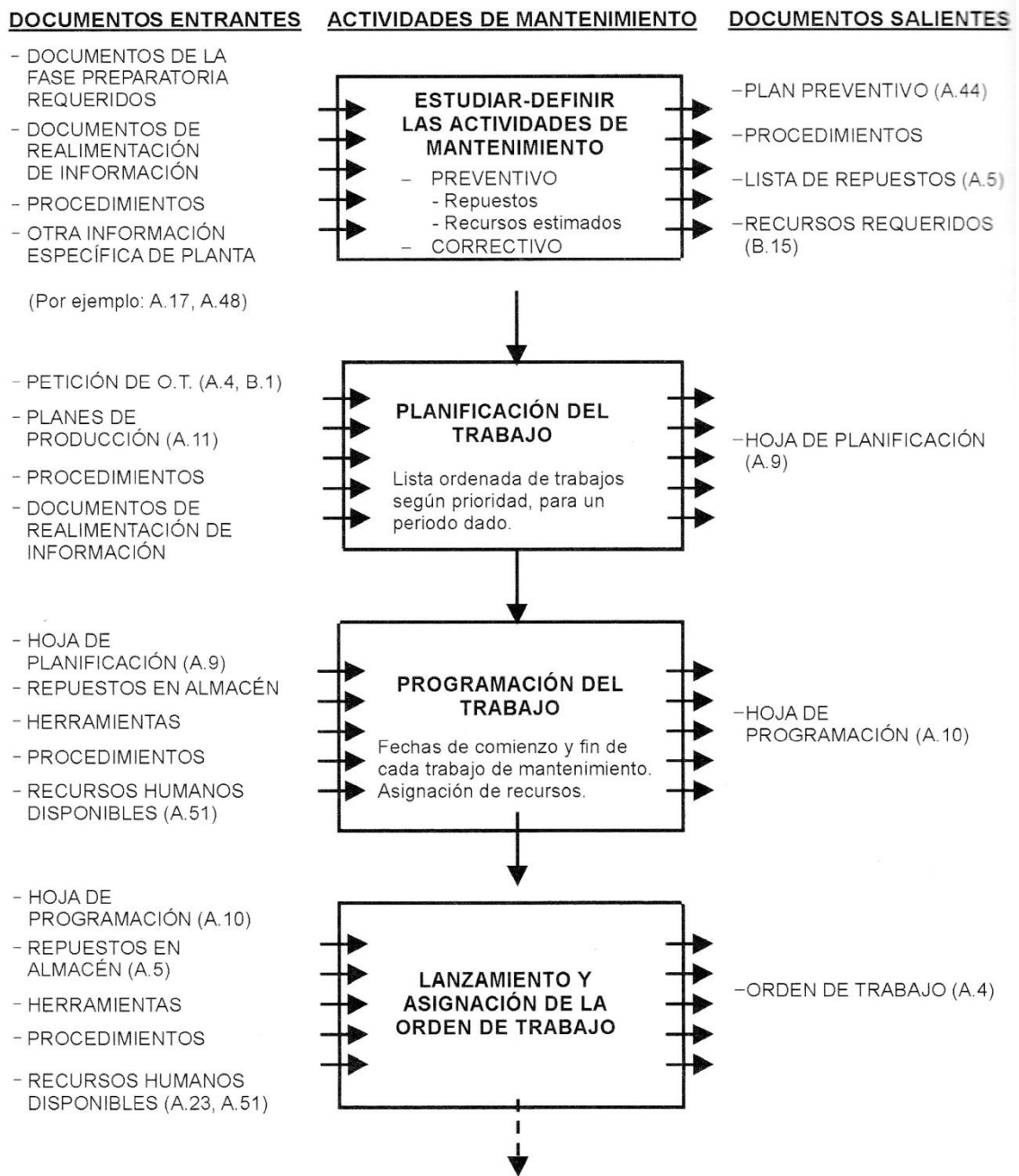
- Procedimiento para las acciones preventivas y correctivas
- Procedimiento para la manipulación, almacenamiento, embalaje, conservación y expedición
- Control de los registros de mantenimiento
- Auditorías internas de mantenimiento
- Procedimiento para el seguimiento de las acciones correctivas derivadas de las auditorías internas
- Fichero de especialidades y formación del personal. (AENOR, 2009)

7.3.4.2. Flujo de documentos

La información es completamente necesaria para que el personal de mantenimiento pueda realizar las tareas asignadas. También a la correcta gestión del mantenimiento, planificación, coordinación de las tareas de mantenimiento y como un sistema de medición, control y de mejoramiento de funciones.

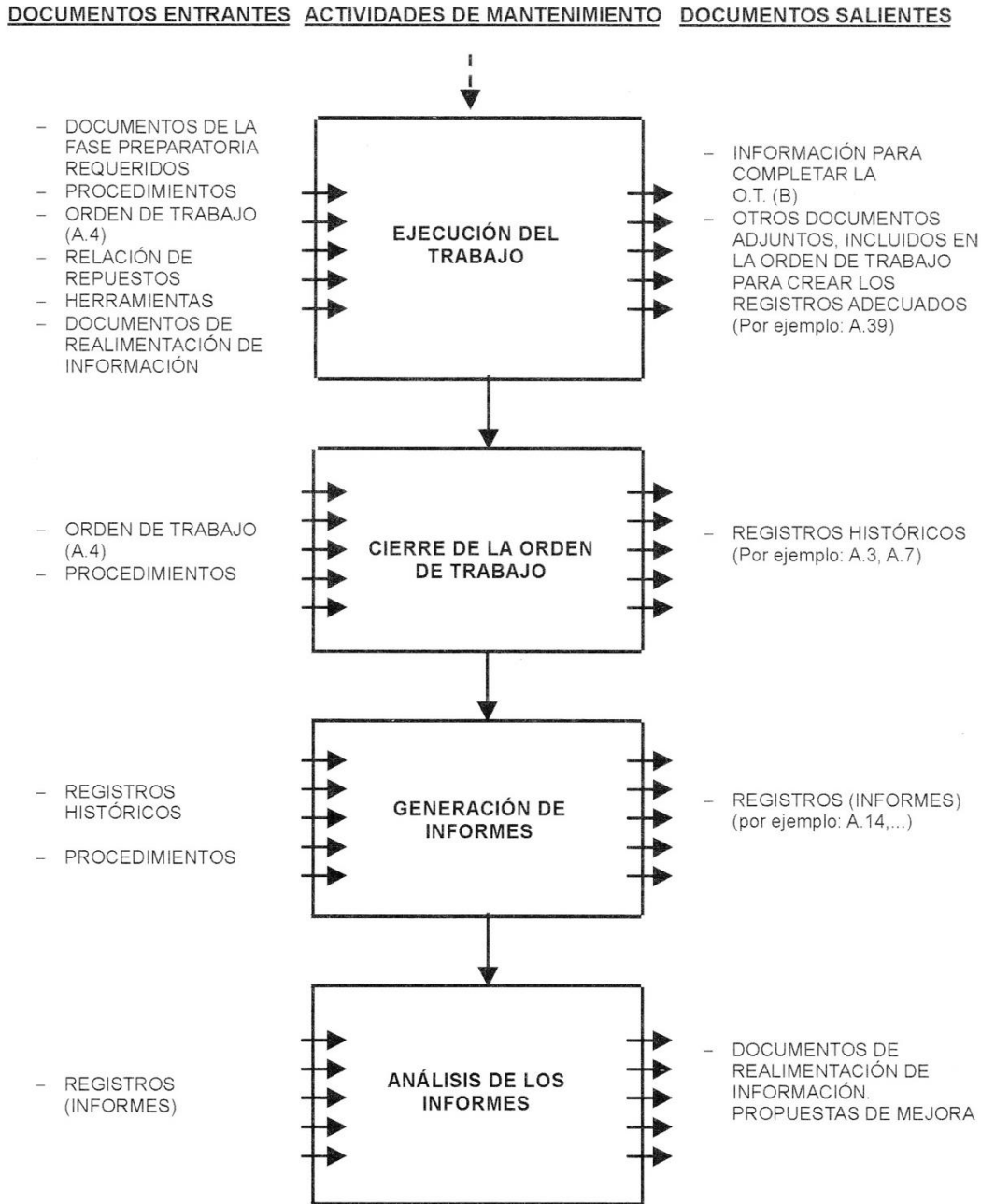
AENOR (2009) expresa de forma gráfica el flujo de información, llamando Documentos Entrantes a la información necesaria para realizar una tarea y Documentos Salientes, para los documentos generados después de la realización de la tarea y necesarios para cumplir con la siguiente etapa en las tareas de mantenimiento. Algunos de los documentos son necesarios para el sistema de calidad del mantenimiento. Los gráficos de información de muestran en la Figura 9 y 10.

Figura 9. Documentos entrantes y salientes antes de ejecutar las tareas de mantenimiento



Fuente: AENOR (2009). *UNE-EN 13460 Mantenimiento – Documentos para el mantenimiento.*

Figura 10. Documentos entrantes y salientes después de ejecutar las tareas de mantenimiento



Fuente: AENOR (2009). *UNE-EN 13460 Mantenimiento – Documentos para el mantenimiento.*

7.3.4.3. Control de la calidad del mantenimiento

Duffuaa menciona que “La calidad de los productos del mantenimiento tiene un enlace directo con la calidad del producto y la capacidad de la compañía para cumplir con los programas de entrega” (Duffuaa, 2000, p. 254).

Por lo que realizar un sistema que analice el control de calidad de las tareas de mantenimiento se pueden alcanzar metas como mayor disponibilidad y eficiencia, incremento en el tiempo de vida de los equipos, mejorar el tiempo de reparaciones y la calidad de las mismas.

Una serie de herramientas que recopilan datos para evaluar un proceso, productos o mantener un estado de control, son las siete herramientas para el control estadístico que menciona Duffuaa:

- “Lista de verificación
- Histograma
- Diagrama de causa y efecto (espina de pescado)
- Diagrama de Pareto (también conocido como análisis ABC)
- Gráfica de control
- Diagrama de dispersión
- Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF)” (Duffuaa, 2000, p. 258).

7.3.4.3.1. Responsabilidades en el control de calidad

A continuación se detalla una lista de responsabilidades en el control de calidad del mantenimiento, generada según Duffuaa (2000):

- Realizar inspecciones de las acciones, los procedimientos, el equipo y las instalaciones de mantenimiento
- Conservar y mejorar los documentos, los procedimientos y las normas de mantenimiento
- Asegurar que todas las unidades estén conscientes y sean expertas en los procedimientos y normas de mantenimiento
- Mantener un alto nivel de conocimiento experto manteniéndose al día con la literatura referente a los procedimientos y registros de mantenimiento
- Hacer aportaciones a la capacitación del personal de mantenimiento
- Realizar análisis de deficiencias y estudios de mejora de procesos empleando diversas herramientas para el control estadístico de procesos
- Asegurar que los trabajadores se apeguen a todos los procedimientos técnicos y administrativos cuando realicen el trabajo real de mantenimiento
- Revisar los estándares de tiempo de los trabajos para evaluar si son adecuados
- Revisar la calidad y disponibilidad de los materiales y refacciones para asegurar su disponibilidad y calidad
- Realizar auditorías para evaluar la situación actual del mantenimiento y prescribir remedios para las áreas con deficiencias
- Establecer la certificación y autorización del personal que realiza tareas críticas altamente especializadas
- Desarrollar procedimientos para las inspecciones de nuevos equipos y probar el equipo antes de aceptarlo de los proveedores. (p. 255)

7.3.5. Administración y control

“Conjunto de tareas, en su mayoría de naturaleza administrativa” (Prando, 1996, p. 44). Menciona también que, actualmente se realizan empleando

programas de computación específicos para la gestión del mantenimiento. Entre las tareas de administración y control El manual de Gestión de Mantenimiento a la medida menciona:

Según Prando (1996):

- Disponer de los datos técnicos inherentes a cada uno de los equipos que componen el activo fijo de la empresa y del historial de actualización de los mismos para predecir el tiempo para su reparación
- Generar el plan de revisiones periódicas de los equipos o de algunas de sus piezas o componentes críticos y, para cada una de ellas, la orden de revisión correspondiente. El plan debe incluir herramientas de posible uso, normas para realizar el trabajo y autorización para su ejecución
- Controlar la ejecución del plan y captar la información generada
- Analizar técnicamente las revisiones, estudiando el comportamiento de los componentes críticos de los equipos para determinar la probabilidad de las posibles roturas
- Generar el plan de reparaciones coordinándolo con los departamentos involucrados, es decir, las órdenes de reparación.
- Analizar el comportamiento de los equipos
- Disponer y procesar la información requerida para controlar la gestión de mantenimiento. (p. 43-44)

Entre los aspectos que forman parte de la administración y control del mantenimiento se tiene:

- Fuentes de información
- Documentos
- Flujo de información
- Revisión de la información relevada
- Cálculo de algunos indicadores de la eficiencia del mantenimiento
- Resultados del análisis de la información procesada de mantenimiento (Prando, 1996, p. 47-50).

7.3.5.1. Fuentes de información

Dentro de los aspectos fuertes de la trazabilidad encontramos los documentos para el mantenimiento y el flujo de la información del mantenimiento. Para la administración y control del mantenimiento es necesario resaltar que debe de existir una fuente de información. Prando menciona que la fuente de información puede estar en datos relativos a:

- Equipos e instalación
- Gestión de mantenimiento
- Fallos y averías
- Intervenciones de mantenimiento (Prando, 1996, p. 47).

7.3.5.2. Revisión de la información

La revisión de la información es necesaria para, según Prando (1996):

- Descubrir inmediatamente los trabajos que han significado costos elevados para así controlarlos mejor

- Señalar los trabajos que representan intervenciones repetidas para, previo análisis, reducirlas significativamente
- Justificar la adquisición de herramientas para reducir las horas de trabajo insumidos, o el remplazo del equipo por otro. (p. 50)

7.3.5.3. Indicadores de mantenimiento

En la publicación de Indicadores de mantenimiento, se menciona que “la función de mantenimiento requiere estar en constante autoanálisis para encontrar la gestión óptima de los diferentes activos” (Hernández, 2015). Además Hernández (2015) afirma que para realizar este autoanálisis se utilizan unos parámetros de medida para evaluar las prácticas de mantenimiento y estos parámetros son los indicadores. Algunos indicadores son mostrados en la Figura 11 y 12.

Figura 11. **Indicadores de volumen de producción**

Indicadores de volumen de producción		
Indicador	Unidad	Fórmula
Efectividad global del equipamiento	%	Disponibilidad x ejecución x calidad
Tasa de disponibilidad neta	%	$\frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Tiempo disponible}}$
Tasa de ejecución	%	$\frac{\text{Cantidad producción nominal}}{\text{Cantidad producida en condiciones óptimas}}$
Tasa de calidad	%	$\frac{\text{Cantidad producida en conformidad}}{\text{Cantidad producida total}}$
MTBF (tiempo medio entre fallas)	Horas	Tiempo promedio entre dos fallas para una instalación sobre un período de tiempo dado
Número de paradas que causan detención de la producción	Número	La suma de las paradas que ocurrieron durante un período dado
MTTR (tiempo medio para la reparación)	Horas	Tiempo promedio entre el momento cuando ocurre la falla y el momento cuando esta es reparada

Fuente: Hernández (2015). *Los Indicadores de la Gestión del Mantenimiento*.

Figura 12. **Indicadores relevantes del mantenimiento**

Indicadores de volumen de producción		
Indicador	Unidad	Fórmula
Efectividad global del equipamiento	%	Disponibilidad x ejecución x calidad
Tasa de disponibilidad neta	%	$\frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Tiempo disponible}}$
Tasa de ejecución	%	$\frac{\text{Cantidad producción nominal}}{\text{Cantidad producida en condiciones óptimas}}$
Tasa de calidad	%	$\frac{\text{Cantidad producida en conformidad}}{\text{Cantidad producida total}}$
MTBF (tiempo medio entre fallas)	Horas	Tiempo promedio entre dos fallas para una instalación sobre un período de tiempo dado
Número de paradas que causan detención de la producción	Número	La suma de las paradas que ocurrieron durante un periodo dado
MTRR (tiempo medio para la reparación)	Horas	Tiempo promedio entre el momento cuando ocurre la falla y el momento cuando esta es reparada

Fuente: Hernández (2015). *Los Indicadores de la Gestión del Mantenimiento*

7.3.5.4. Auditorias

En el Manual de Gestión de Mantenimiento a la Medida define como “Una actividad documentada que se realiza para determinar mediante investigación, examen y evaluación de evidencias objetivas el cumplimiento de procedimientos establecidos, instrucciones, especificaciones, códigos, normas, programas operativos o administrativos y otros documentos aplicables, así como la efectividad de su implementación” (Prando, 1996, p. 23).

Además menciona que “El éxito del mantenimiento en toda empresa depende del cumplimiento satisfactorio de las tareas gerenciales” (Prando, 1996, pp. 65). Si se detectan fallas en alguna de las tareas gerenciales, estas repercuten directamente a la producción y a la eficiencia y eficacia del mantenimiento.

Sobre los aspectos que se deben de auditar se mencionan los siguientes aspectos, según Prando (1996):

- Grado de cumplimiento de las metas de disponibilidad las cuales han sido fijadas en su oportunidad;
- Efectividad en el funcionamiento del organigrama de la Empresa y del sistema de mantenimiento;
- Lo adecuado, efectivo y eficiente de los procedimientos de mantenimiento establecidos, de los documentos a utilizar, de su flujo y análisis técnico-económico;
- La calidad de la gerencia de área y de las relaciones del personal tanto internas como con las demás áreas de la empresa;
- Lo completo, adecuado y actualizado del manual de gestión de mantenimiento y de los procedimientos en uso;
- La eficiencia de la gestión de mantenimiento, medida por la disponibilidad de los equipos, el cumplimiento de los niveles de calidad fijados, control de rechazos y su costo. (p. 65-66)

Por último, menciona que los aspectos a evaluar de la gestión de mantenimiento son, según Prando (1996):

- Servicios de mantenimiento que se realizan
- Estructura que los provee
- Gestión de las órdenes de trabajo
- Gestión del mantenimiento planificado y del preventivo
- Gestión de reparaciones de emergencia
- Gestión de administración y control
- Gestión de repuestos

- Gestión de análisis de mantenimiento
- Gestión de dirección, control, autoridad, capacitación y seguridad. (p. 66)

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Sensores LevelFlex FMP40 y FMP51
 - 1.1.1. Principio de funcionamiento
 - 1.1.2. Constante dieléctrica
 - 1.1.3. Medición de la interfase
 - 1.1.4. Calculo de Volumen y masa
 - 1.1.4.1. Tanque esférico
 - 1.1.4.2. Tanque cilíndrico
 - 1.1.5. Protocolo de comunicación HART
 - 1.1.6. Funciones de diagnóstico y detección de fallas en los sensores Levelflex
 - 1.1.6.1. Mensajes de diagnóstico en visualizador local
 - 1.1.6.2. Codificación de errores
- 1.2. Normas UNE
 - 1.2.1. UNE-EN 13306

- 1.2.2. UNE-EN 13460
- 1.2.3. UNE-EN 15341
- 1.2.4. UNE 151001
- 1.2.5. UNE-CEN/TR 15628
- 1.3. Gestión de Mantenimiento
 - 1.3.1. Mantenimiento
 - 1.3.2. Tipos de mantenimiento
 - 1.3.2.1. Mantenimiento preventivo
 - 1.3.2.1.1. Mantenimiento predeterminado
 - 1.3.2.1.2. Mantenimiento basado en la condición
 - 1.3.2.1.3. Mantenimiento predictivo
 - 1.3.2.2. Mantenimiento correctivo
 - 1.3.2.2.1. Mantenimiento correctivo diferido
 - 1.3.2.2.2. Mantenimiento correctivo inmediato
 - 1.3.2.3. Mantenimiento programado
 - 1.3.3. Plan de mantenimiento
 - 1.3.3.1. Protocolo de mantenimiento
 - 1.3.3.2. Análisis de fallos
 - 1.3.3.2.1. Análisis del modo de fallas y efectos
 - 1.3.3.2.2. Árboles de fallos
 - 1.3.3.2.3. Diagramas de causa y efecto
 - 1.3.4. Trazabilidad del mantenimiento

- 1.3.4.1. Documentos para el mantenimiento
 - 1.3.4.1.1. Documentos de la fase preparatoria
 - 1.3.4.1.2. Documentos de la fase operativa
- 1.3.4.2. Flujo de Documentos
- 1.3.4.3. Control de la calidad del mantenimiento
 - 1.3.4.2.1. Responsabilidades en el control de calidad
- 1.3.5. Administración y control
 - 1.3.5.1. Fuentes de información
 - 1.3.5.2. Revisión de la información
 - 1.3.5.3. Calculo de indicadores de mantenimiento
 - 1.3.5.4. Auditorias

- 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
- 3. PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- 4. PROPUESTA DE TRABAJO

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Diseño de investigación

La investigación es de un diseño no experimental transversal. Con el fin de indagar sobre la incidencia de los fallos que ocurren durante las prácticas de puesta en marcha y mantenimiento de los sensores de nivel de radar de onda guiada. Además, indagar sobre el proceso actual de gestión del mantenimiento para los sensores de nivel de radar de onda guiada en Ingenio la Unión. Y un adecuado seguimiento de los fallos presentados durante la realización de la presente investigación.

9.2. Tipo de investigación

La investigación es tipo descriptiva y correlacional, debido a que: para los sensores de nivel de radar por onda guiada, se busca describir qué tipo de condiciones de operación y mantenimiento son establecidas en los procesos donde están involucrados. Y correlacional debido a que se debe de realizar una comparación entre la gestión actual de mantenimiento y la propuesta desarrollada durante la investigación.

9.3. Alcances

De los sensores de Nivel de radar de onda guiada, se ubican en los procesos de tanques de condensado y evaporación de jugo. Por lo que el diseño del plan de mantenimiento, a proponer, abarca todos los sensores de nivel de

radar de onda guiada en la planta de producción de azúcar y refinería en ingenio La Unión.

Dentro de los riesgos o problemáticas que dificulten la investigación, se puede mencionar el acceso al historial del equipo, debido a que, al no laborar en Ingenio La Unión, los accesos son limitados y acceso a la información depende de la disponibilidad del personal. Por otra parte, el interferir en el cronograma de actividades para el personal de Ingenio La Unión, se agrega una actividad extra para el personal del departamento de instrumentación y electricidad.

9.4. Variables e indicadores

Se utilizan para el presente estudio, variables cuantitativas y cualitativas. De las cuantitativas podemos mencionar los indicadores de mantenimiento y mantenibilidad de los sensores de nivel de radar de onda guiada. Y las variables cualitativas se expresan en la descripción y el análisis de fallas.

9.5. Fases de la investigación

La investigación contiene 4 fases para su desarrollo, que son: la revisión documental, Análisis de fallas, Diseño de documentación y elaboración del plan de mantenimiento. Todas las fases se describen a continuación:

Revisión documental: donde se estudiará los historiales de mantenimiento de los sensores de nivel de radar por onda guiada. La documentación que proporciona el fabricante, como puede ser información técnica, de montaje, de detección de fallas, calibración y configuración. Además de la observación de las tareas de mantenimiento, que realiza el personal del departamento de instrumentación, a los sensores de nivel.

Análisis de fallas: Ante los fallos o averías que se presenten o encuentren durante la fase de la revisión documental, se debe de realizar un análisis de las fallas, el cual permita describir los eventos que suceden durante el mantenimiento y así poder realizar la corrección de las fallas. Análisis de los indicadores de mantenimiento de los sensores de nivel de radar de onda guiada.

Diseño de documentos: necesarios para el mantenimiento de los sensores de nivel acorde a normativas UNE. Debido a la ausencia de procedimientos técnicos deberán de ser elaborados los documentos para la utilización en las tareas de mantenimiento. Los documentos necesarios serán determinados de la fase de revisión documental y del criterio del investigador según los documentos mencionados en las normas UNE- EN 13460:2009 que se adecuen a las necesidades de los sensores de nivel.

Realización del plan de mantenimiento: se realizará el plan de mantenimiento, conformado por los documentos establecido en la fase de diseño de documentos. Siempre se apegará el plan a normativas UNE. Luego presentará el plan de mantenimiento a la unidad correspondiente para su aprobación y toma de decisión sobre su utilización en las tareas de mantenimiento de los sensores de nivel.

Por lo que se aplica la fase uno a todos los sensores de nivel de radar de onda guiada en Ingenio La Unión. De los resultados de los análisis obtenidos en la fase dos, se aplica a una muestra, según los dos procesos en que se puede encontrar los sensores de nivel de radar de onda guiada, los parámetros de configuración, calibración, uso, montaje y desmontaje.

Entre los instrumentos de recolección de información para la presente investigación, se mencionan: observación, listas de chequeo (según el desarrollo

de la documentación para el mantenimiento), bitácora personal del investigador, toma de notas en campo, análisis de documentos y pruebas de campo.

9.6. Resultados esperados

Analizar los problemas en la gestión del mantenimiento de los sensores de nivel de radar de onda guiada enfocada a la disminución de tiempo en la realización de las tareas mantenimiento para los sensores de nivel. Una guía para la detección de fallas electrónicas comunes. Y procedimientos homogéneos en las tareas de mantenimiento.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

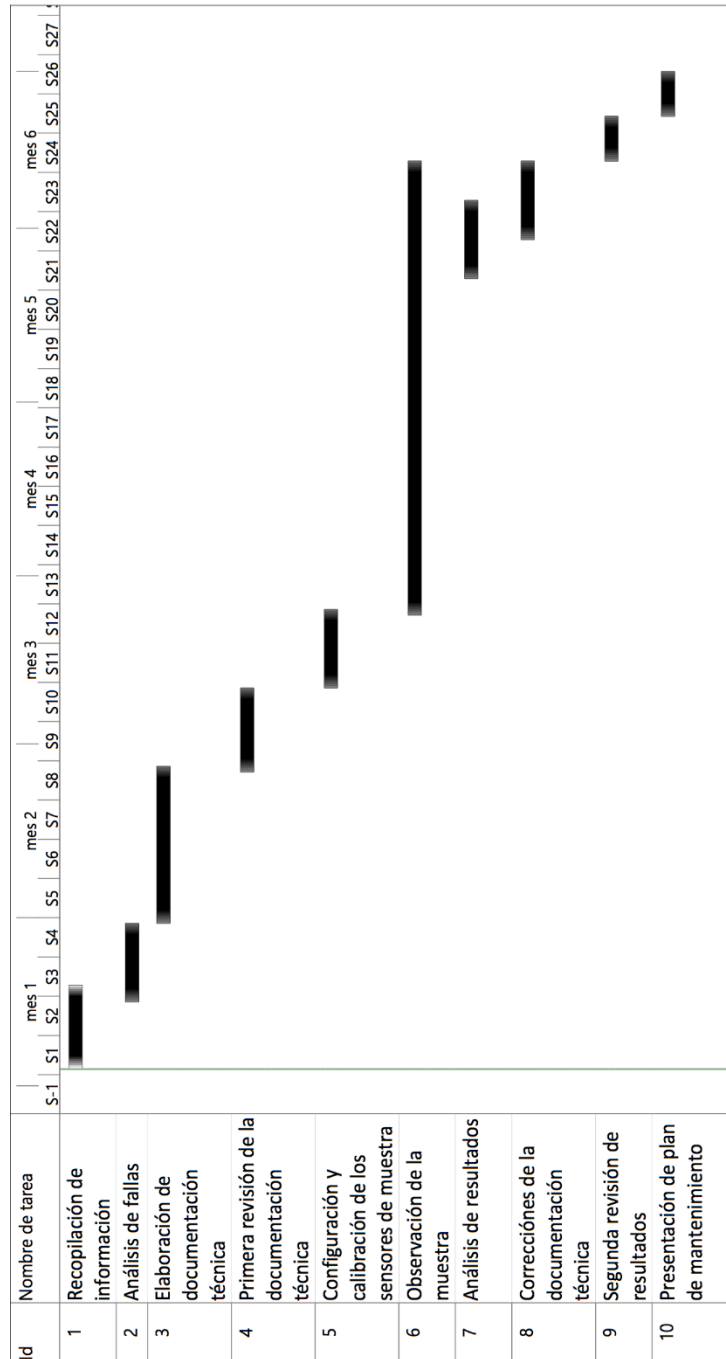
Durante el presente trabajo de investigación se utilizaron una serie de herramientas de análisis de información con base en la estadística descriptiva, tanto para las variables cuantitativas como cualitativas. Se mencionan las siguientes herramientas: Histograma, diagramas de causa y efecto, gráficos de Pareto, gráficas de control, diagramas de árboles de fallo, análisis de modo y efecto de fallas, análisis de correlación o diagramas de dispersión.

El apoyo en gráficas de control y gráficos de Pareto permite una visualización gráfica de los indicadores de mantenimiento (variables cuantitativas), para el análisis de correlación o diagramas de dispersión, permite encontrar la relación o comportamiento entre dos variables. Por último, se tienen los diagramas de árboles de fallo, análisis de modo y efecto de fallas y diagramas de causa y efectos, necesarios para la evaluación de las variables cualitativas.

11. CRONOGRAMA

En la Figura 13 se muestra el cronograma de las actividades que serán realizadas para el desarrollo del trabajo de investigación. El cronograma de actividades está directamente relacionado con el diagrama de la solución propuesta que se visualiza en la Figura 1. Además, el flujo de trabajo para la solución es acorde a las fases de la investigación, especificado en la metodología de la investigación.

Figura 13. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, realizado con Project

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Como recurso humano, se utilizará el personal de mantenimiento de los departamentos: de instrumentación y automatización. Tomando como una actividad extra sobre sus labores diarias en ingenio La Unión. Se permite el acceso a la planta, observación de operaciones, la realización de pruebas en bancos de pruebas para los sensores de nivel o simulaciones. Todos los recursos se solicitan por escrito, para verificar la disponibilidad del personal de los departamentos mencionados y también de los equipos y herramientas para pruebas de los sensores de nivel de radar de onda guiada.

Tabla III. **Costo del recurso humano**

Descripción	Costo (h)	Cantidad de horas requeridas	Subtotal
Técnico instrumentista	Q.30.00	150	Q.4,500.00
Ingeniero de Instrumentación	Q.60.00	100	Q.6,000.00
Ingeniero de Sistemas	Q.60.00	25	Q.1,500.00
Coordinador de mantenimiento	Q.50.00	30	Q.1,500.00
Total			Q.13,500.00

Fuente: elaboración propia.

Queda por parte del investigador, con recursos propios, la financiación de los gastos de transporte, alimentación, parqueo, adquisición de normas u otra documentación necesaria para el desarrollo de la investigación.

Tabla IV. **Costos de la investigación**

Descripción	Valor
Viáticos y transporte	Q.5,000.00
Compra de normas UNE	Q.1,000.00
Total	Q.6,000.00

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. AENOR, (2008). *UNE-EN 15341 Mantenimiento – Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento*. España: Autor.
2. AENOR, (2009). *UNE-EN 13460 Mantenimiento – Documentos para el mantenimiento*. España: Autor.
3. AENOR, (2011). *UNE-EN 13306 Mantenimiento – Terminología de mantenimiento*. España: Autor.
4. AENOR, (2011). *Gestión del mantenimiento*. España: Autor.
5. AENOR, (2011). *UNE 151001 Mantenimiento – Indicadores de mantenibilidad de dispositivos industriales, definición y evaluación*. España: Autor.
6. AENOR, (2011). *UNE-CEN/TR 15628 Mantenimiento – Cualificación del personal de mantenimiento*. España: Autor.
7. Burns, R. (2003). *Fundamentos de química*. México: Pearson Educación.
8. Creus, A. (2009). *Instrumentos industriales, su ajuste y calibración*. México, México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

9. Creus, A. (2010). *Instrumentación industrial*. México, México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
10. Ditur. (2014). *Diccionario de Geometría*. (n.d). Recuperado de <http://www.ditur.com/asignaturas/geometria.html>
11. Donis, R (2015). *Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para motores utilizados en planta de pasta en minera San Rafael, S.A.* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
12. Duffuaa, S. (2000). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*. México: Limusa, S.A. de C.V.
13. EMERSON (2007), *Hoja de datos del producto, serie rosemount 3300* (00813-0109-4811). Estados Unidos: Autor.
14. ENDRES + HAUSER. (2012). *Manual de instrucciones Levelflex FMP51, FMP52, FMP54* (BA01001F/00). Alemania: Autor.
15. ENDRES + HAUSER. (2000). *Relative dielectric constant ϵ_r of liquids and solid materials*. Alemania: Autor.
16. ENDRES + HAUSER. (2013). *Información Técnica Levelflex FMP51, FMP52, FMP54* (TI01001F/00). Alemania: Autor.
17. ENDRES + HAUSER. (2011). *La Guía de Mantenimiento de Endress+Hauser*. España, E-Book Systems, Inc.

18. Espinoza, E. (2014). *Diseño de un plan de gestión de mantenimiento preventivo para incrementar la vida nominal de los equipos: Vehículos livianos y Maquinas-Herramientas. Empresa COOPSOL Minería y Petróleo S.A* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Callao, Perú. Recuperado de http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/235/EdgarSiemeon_Tesis_tituloprofesional_2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y
19. Hernández, G (19 de mayo, 2015). Los Indicadores de la Gestión del Mantenimiento [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://blog.gaherma.com/index.php/2015/05/19/los-indicadores-de-la-gestion-del-mantenimiento/>
20. IRIM (s.f, 2015). Planes de mantenimiento [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.renovetec.com/irim/sobre-mantenimiento/planes-de-mantenimiento>
21. Prando, R. (1996). *Manual de Gestión de Mantenimiento a la medida*. Guatemala: Piedra Santa S.A. de C.V.
22. Quintero, O. (2011). *Protocolo técnico para mantenimiento de transmisores de presión, nivel, temperatura y válvulas tipo mariposa y globo con marca específica, en el ingenio Risalda* (Tesis de licenciatura). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
23. Sánchez, A. (2006). *Planificación de Gestión de Mantenimiento Preventivo asistido por un software de Mantenimiento en la empresa DANA SYSTEMS INTEGRATION* (Tesis de licenciatura).

Universidad Simón Bolívar, Venezuela. Recuperado de <http://159.90.80.55/tesis/000132609.pdf>

24. SEAS, Estudios Superiores Abiertos. (2010). *Gestión de Mantenimiento 1*. España, SEAS Grupo Sanvalero.
25. Soto, R. (8 de octubre, 2015) La trazabilidad en el Mantenimiento Industrial [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.linkedin.com/pulse/la-trazabilidad-en-el-mantenimiento-industrial-jose-renato-soto-rojas?trk=prof-post&trkSplashRedir=true&forceNoSplash=true>
26. Valdes, J. & San Martín, E (2009). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo-predictivo aplicado a los equipos de la empresa REMAPLAST* (Tesis de licenciatura). Universidad de Cartagena, Colombia. Recuperado de <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/802/1/275-%20TTG%20-%20DISEÑO%20DE%20UN%20PLAN%20DE%20MANTENIMIENTO%20PREVENTIVO-PREDICTIVO%20APLICADO%20A%20LOS%20EQUIPOS%20DE%20LA%20EMPRESA%20REMAPLAST.pdf>