



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PARA UN
AHORRO ECONÓMICO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) EN EQUIPOS CRÍTICOS
DE PRODUCCIÓN APLICABLE A UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE LEVADURAS EN LA
REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Kimberly de Fátima Icaza Guevara

Asesorado por la MSc. Inga. Sandra Ninett Ramírez Flores

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PARA UN
AHORRO ECONÓMICO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) EN EQUIPOS CRÍTICOS
DE PRODUCCIÓN APLICABLE A UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE LEVADURAS EN LA
REPÚBLICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KIMBERLY DE FÁTIMA ICAZA GUEVARA

ASESORADO POR LA MSC. INGA. SANDRA NINETT RAMÍREZ FLORES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

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 Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
EXAMINADORA	Inga. Telma Maricela Cano Morales
EXAMINADORA	Dra. Casta Patrona Zeceña Zeceña
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

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 UN PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PARA UN AHORRO ECONÓMICO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) EN EQUIPOS CRÍTICOS DE PRODUCCIÓN APLICABLE A UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE LEVADURAS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 02 de agosto de 2021.

Kimberly de Fátima Icaza Guevara

Ref. EEPFI-0981-2021
Guatemala, 02 de agosto de 2021

Director
Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
Escuela de Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ing. Álvarez:

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: PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PARA UN AHORRO ECONÓMICO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) EN EQUIPOS CRÍTICOS DE PRODUCCIÓN APLICABLE A UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE LEVADURAS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante **Kimberly de Fátima Icaza Guevara** carné número **200180043**, 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 en 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,

"Id y Enseñad a Todos"


Sandra Ninett Ramírez Flores
INGENIERA QUÍMICA, COL. No. 437
Mre. INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

Mtra. Sandra Ninett Ramírez Flores
Asesora




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



Ref.EEP.EIQ. 012.2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Química 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: **PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PARA UN AHORRO ECONÓMICO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) EN EQUIPOS CRÍTICOS DE PRODUCCIÓN APLICABLE A UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE LEVADURAS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria Kimberly de Fátima Icaza Guevara, 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. Williams G. Alvarez Mejia, M.Sc., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química


Guatemala, agosto de 2021



DTG.648.2021

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 Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PARA UN AHORRO ECONÓMICO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) EN EQUIPOS CRÍTICOS DE PRODUCCIÓN APLICABLE A UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE LEVADURAS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Kimberly de Fátima Icaza Guevara**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021

ACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Mi Padre, mi Rey, por escogerme para conocerle y heredar la salvación eterna por medio de su hijo, mi amado Jesucristo, y darme el privilegio de ser llamada hija suya. Por sobre todas las cosas, le amo.

Mis padres

A mi padre terrenal, Reynaldo Icaza, por siempre darme ánimos, por enseñarme a amar el conocimiento sobre todo, por acompañarme en mis tristezas y alegrías. A mi madre, Daisy Guevara, por su amor incondicional, a veces incomprendido, por su sacrificio y sus consejos tan útiles a lo largo de mi vida. Les amo mucho.

Mis hermanos

Reynaldo, por enseñarme tanto. Grace, por siempre estar presente. No sé qué sería de mi vida si Dios no te hubiera puesto en ella. Lo poco que he logrado, no lo hubiera hecho sin ustedes.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por su gracia, misericordia y amor al permitirme alcanzar esta meta. Por siempre agradeceré su bondad.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme los conocimientos necesarios para llegar a ser profesional.
Facultad de Ingeniería	Por enseñarme lo necesario para salir y poder aplicar los conocimientos adquiridos.
Mi asesora	Inga. MSc. Sandra Ninett Ramírez Flores por apoyarme en la asesoría del tema, pero también por siempre darme consejos cuando más los necesitaba. La llevo en mi corazón.
Mis amigos	Grace Icaza, mi mejor amiga, mi hermana, te amo mucho. Emerson López, Zulema Calderón, Lesli Fuentes, Isabel Amoreti, Dina Soto, Debora Santizo, Barbie Martínez, Zoila Reyes, Jennifer Bautista, Hilda Marroquín, Brenda Hernández, Gary Pérez. ¡Gracias por sus enseñanzas!

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	5
2.1 Generalidades.....	5
2.2 Análisis de resultados de investigaciones previas	8
2.3 Análisis a nivel internacional	10
2.4 Análisis a nivel nacional	11
2.5 Discusión de resultados de investigaciones previas	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
4. JUSTIFICACIÓN	17
5. OBJETIVOS	19
5.1 General	19
5.2 Específicos	19
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	21
7. MARCO TEÓRICO	23

7.1	Protocolos de mantenimiento	23
7.2	Técnicas de mantenimiento	23
7.3	Estrategias de mantenimiento	24
7.4	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	25
7.5	Confiabilidad	27
7.6	Análisis de modos y efectos de fallas	28
7.6.1	Causas más comunes de las fallas en los equipos.....	30
7.7	El análisis de confiabilidad.....	32
7.8	Teoría de la confiabilidad	32
7.9	Levaduras	33
7.9.1	Condiciones de desarrollo de levaduras	35
7.9.2	Producción a nivel industrial	36
7.9.3	Medio de producción.....	37
7.9.4	Proceso de producción a múltiple etapa	38
7.9.5	Separación, lavado y empaquetado.....	40
7.10	Equipos críticos en la producción de levaduras.....	41
7.10.1	Matriz de criticidad	42
7.10.2	Fermentadores.....	43
7.10.3	Medidores de flujo – Coriolis.....	45
7.10.4	Medidores de nivel por presión diferencial.....	46
7.10.5	RTD (Resistance Temperature Detectors)	48
7.10.6	Medidor de pH ISFET	48
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO	51
9.	METODOLOGÍA.....	53
9.1	Tipo de estudio	53
9.2	Fases del estudio.....	54
9.3	Variables	54

9.4	Operacionalización de variables	55
9.5	Universo y población de estudio	56
9.5.1	Criterios de inclusión	56
9.5.2	Criterios de exclusión.....	56
9.6	Hipótesis	57
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	59
10.1	Muestreo	59
10.2	Métodos de recolección de datos.....	59
10.3	Técnicas de recolección de datos	59
10.4	Instrumentos de recolección de datos	59
10.5	Procesamiento y análisis de datos	60
10.6	Obstáculos (riesgos y dificultades).....	60
11.	CRONOGRAMA.....	61
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	63
12.1	Costo del estudio	63
13.	REFERENCIAS.....	65
14.	APÉNDICES.....	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de necesidades a cubrir	22
2.	Diagrama de árbol lógico simplificado para el MCC.....	26
3.	Distribución de fallas	31
4.	Vista microscópica de levaduras	34
5.	Proceso de producción de levaduras	37
6.	Equipos involucrados en el proceso de producción	39
7.	Entradas y salidas físicas del tanque reproductor	42
8.	Ejemplo de matriz de criticidad	42
9.	Diagrama de flujo de proceso de fermentación	43
10.	Identificación de variables del proceso.....	44
11.	Esquema medidor de flujo.....	46
12.	Medidor de presión.....	47
13.	Medidor de pH.....	49

TABLAS

I.	Definición de variables	55
II.	Operacionalización de variables	55
III.	Cronograma	61
IV.	Costos del estudio.....	64

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius
K	Kilómetros
m	Metro
m ²	Metros cuadrados
µm	Micrómetro
mm	Milímetro
O ₂	Oxígeno
%	Porcentaje

GLOSARIO

Ácidos amídicos	Amidas de los ácidos carboxílicos (estrictamente, carboxamida). Las amidas son comunes en la naturaleza, y una de las más conocidas es la urea.
AMEF	Análisis de modos y efectos de fallas.
Anhídrido fosfórico	También conocido como óxido de fósforo, es un compuesto que reacciona agresivamente cuando entra en contacto con el agua, formando ácido fosfórico. Está formado por cinco átomos de oxígeno y dos átomos de fósforo.
Extrudir	Dar forma a una materia plástica o a un metal fundido haciéndolo salir por una abertura dispuesta para ello.
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> . Método usado para determinar posibles fallas y sus consecuencias.
Gemación	Forma de reproducción asexual en la cual el microorganismo emite en alguna parte de su cuerpo una yema o una protuberancia que se convierte en un nuevo individuo.

ISAH	Impacto en seguridad, ambiente e higiene.
ISFET	<i>Ion Sensitive Field Effect Transistor</i> . Transistor de efecto de campo sensible a iones.
Mosto	Mezcla homogénea de agua y melaza que se utiliza para la etapa de fermentación en la producción de levaduras.
MTBF	<i>Main Time Before Failures</i> . Media aritmética del tiempo entre fallos de un sistema.
MTTR	<i>Main Time to Repair</i> . Tiempo medio de reparación.
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i> . Estrategia de mantenimiento que busca aumentar la confiabilidad de una planta industrial.

RESUMEN

El presente diseño de investigación tiene como objetivo principal el realizar un protocolo de mantenimiento basado en la confiabilidad en los equipos críticos de una planta de producción de levaduras con el fin de obtener un ahorro económico.

Tal como se concluyó en investigaciones pasadas aplicadas en diferentes países, tales como la de Martínez (2004) en México, quien explica que se obtuvo un aumento del 40 % de las ventas al mejorar la calidad de los productos, y de Villacrés (2016) en Ecuador, quien concluyó que se obtuvo una reducción del 45 % en la tasa de fallos, el ahorro no es un objetivo difícil al analizar los modos de falla y sus efectos en los equipos que forman parte de un proceso productivo. De esta forma se propone la realización de un protocolo de mantenimiento con el fin de identificar principalmente los equipos críticos dentro de la planta de producción de levaduras y sus fallas funcionales, ponderándolas, con el fin de enfocar las acciones de prevención o mantenibilidad necesarias para aumentar la confiabilidad de la planta.

Lo que se busca es disminuir las paradas por mantenimientos correctivos y estar preparados ante las situaciones críticas que pueden afectar la productividad de la planta.

La investigación se considera factible desde el punto de vista técnico y financiero dado que se llevará a cabo a manera de recopilación y análisis de datos y no se necesitarán equipos o insumos costosos.

No se harán cambios en el sistema o ambiente, ni se producirán desechos no manejables que afecten negativamente el ámbito ecológico. La factibilidad social le dará la seguridad de que no se tratarán temas relacionados con propiedad intelectual, al no utilizar datos privados.

El presupuesto total con el que se cuenta para la realización de este estudio no sobrepasa los Q. 44 100.00.

1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de producción a nivel industrial aplican diferentes estrategias para lograr la productividad que el mercado exige. La disponibilidad de la planta es importante; de ella depende lograr la productividad deseada, la calidad y la entrega del producto a tiempo, tal como asevera González (2006). Si se producen fallas no deseadas o bien no se cuenta con los medios para responder de una forma adecuada, los tiempos de paros no programados aumentan, al disminuir la disponibilidad de la planta y con ello la productividad.

El presente diseño de investigación consiste en la sistematización de las actividades propias de la estrategia del mantenimiento para determinar la confiabilidad de la planta, y las acciones necesarias para lograr el aumento de la confiabilidad mediante un protocolo de mantenimiento basado en RCM, por sus siglas en inglés *Reliability Centered Maintenance*.

Uno de los problemas que puede llegar a tener una planta de producción de levaduras, es mantener las condiciones adecuadas para que se dé la reproducción esperada de los microorganismos, mantenerlos en inocuidad y además proveer el medio que garantice el rendimiento que se espera.

El exceso en la dosificación de un producto o bien lo contrario, la falta de uno de ellos, el ajuste del pH entre 4.5 y 5.0 porque una mezcla alcalina promueve el crecimiento de bacterias, el tiempo que pueda parar el proceso por fallas en equipos o si se presenta contaminación en el proceso, puede significar la muerte, en este caso, de las levaduras, afectando negativamente el

rendimiento del proceso de producción (Comisión Nacional del Medio Ambiente [CONAMA], 1998).

La importancia de determinar las actividades de mantenimiento adecuadas radica en lograr el aumento de la confiabilidad de la planta, y determinar las fallas y consecuencias en los equipos, al conocer previamente la forma en la que operan tal como explica Rashuamán (2019) al haber obtenido un 2.5 % de incremento en la disponibilidad de las máquinas de la empresa donde realizó su estudio.

La investigación se enfocará en el mantenimiento de equipos críticos de producción, donde se lleva a cabo el proceso de cambio de la materia. Para determinar el protocolo de mantenimiento basado en la confiabilidad, se aplicará el método de análisis de modos de falla y sus efectos, y un análisis de causas raíz de cada una de las fallas determinadas. A cada modo de falla se le deberá asignar una tarea de mantenimiento. Como resultado se espera aumentar la confiabilidad de la planta mediante acciones de mitigación y prevención.

La investigación tendrá enfoque cualitativo-cuantitativo. La factibilidad de la investigación radica en el fácil acceso a la información para elaborar el análisis, pues al determinar la totalidad de equipos que se incluirán, el análisis llevará cierta cantidad de tiempo, recursos económicos constituidos por cuestionarios llenados por el investigador y trabajo de escritorio. El análisis de fallas se determinará en equipos similares genéricos.

El presente trabajo de diseño de investigación consta de 13 capítulos.

En el capítulo uno del presente diseño de investigación se introduce al lector en el tema a desarrollar. En el capítulo dos, se desarrolla una explicación

sobre los antecedentes, tanto nacionales, como internacionales y su respectivo análisis. En el capítulo tres, se desarrolla el planteamiento del problema, delimitación y las preguntas que se deberán responder para llegar al resultado.

En el capítulo cuatro, se explica en qué manera se justifica la realización del diseño de investigación y en el capítulo cinco, se presentan los objetivos a alcanzar luego de finalizar. Las necesidades a cubrir y el esquema de solución se describen en el capítulo seis.

En el capítulo siete, se describe el marco teórico sobre el tipo de microorganismo que se produce en la planta. Se mencionan las características del medio adecuado para su reproducción, condiciones de vida entre otros. Se incluirá un resumen sobre los conceptos generales de las técnicas de mantenimiento, tipos de mantenimiento para los equipos usados en el control de las condiciones adecuadas y las características de los equipos críticos de producción, así como la explicación sobre análisis de confiabilidad en la aplicación de un plan de mantenimiento, como determinar las causas raíz de las fallas que se puedan dar en una planta de producción.

En el capítulo ocho, se presenta una propuesta del índice de contenidos que podrá contener la investigación. En el capítulo nueve, se explica la metodología a llevar a cabo para alcanzar los objetivos. En el capítulo diez se presenta la explicación sobre las técnicas de análisis de información a seguir.

En el capítulo once, se presenta el cronograma y la especificación de costos para llevar a cabo la investigación se presenta en el capítulo doce, al explicar la factibilidad del estudio. Las secciones siguientes describen las referencias para llevar a cabo esta investigación y los apéndices y anexos.

2. ANTECEDENTES

Aunque hay varios trabajos de investigación realizados en donde se aplica la técnica de mantenimiento RCM, se mencionan los más importantes y su aportación al tema principal de este trabajo.

2.1 Generalidades

Para lograr el objetivo de obtener un ahorro económico mediante la implementación de un protocolo de mantenimiento basado en la confiabilidad, es necesario disminuir paradas no programadas por fallas. Villacrés (2016) indica que “es imperioso desarrollar un plan adecuado de mantenimiento a través de la metodología denominada mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) que minimice las fallas y sus efectos” (p. 2).

Es importante incluir un análisis de criticidad a los equipos de la planta de fabricación de levaduras, con la finalidad de enfocar las actividades de mantenimiento en los equipos críticos, tal como Martínez (2004), quien tomó en cuenta en su investigación, que no todos los procesos pueden ser incluidos en el análisis pues no es económico, por lo que es importante determinar los equipos críticos que deben ser sometidos al análisis.

Martínez (2004) reportó que “los efectos tangibles que se presentaron en la implementación fueron (...): se incrementaron las ventas en el año 2004 arriba de un 40 % (...), se minimizaron los costos por defectos.” (p. 162).

Bestratén, Orriols y Mata (2004) en su estudio, confirman lo expuesto en párrafos anteriores:

El principal interés del AMFE es el de resaltar los puntos críticos con el fin de eliminarlos o establecer un sistema preventivo (medidas correctoras) para evitar su aparición o minimizar sus consecuencias, con lo que se puede convertir en un riguroso procedimiento de detección de defectos potenciales, si se aplica de manera sistemática. (p. 1)

Bestratén *et. al.* (2004) continúan:

Es necesario relacionar con la mayor amplitud posible todas las causas de fallo concebibles que pueda asignarse a cada modo de fallo. Las causas deberán relacionarse de la forma más concisa y completa posible para que los esfuerzos de corrección puedan dirigirse adecuadamente. Normalmente un modo de fallo puede ser provocado por dos o más causas encadenadas. (p. 3)

Para entender la metodología Aguilar, Torres y Magaña (2010), explican de la forma más simple los pasos que la constituyen:

Existen diferentes versiones o variantes de la metodología de Análisis de Modos de Falla y sus Efectos, la metodología empleada como fundamento para elaboración del plan de mantenimiento de la planta consiste en las siguientes actividades:

- Definición de la intención del diseño
- Análisis funcional
- Identificación de modos de falla

- Efectos y consecuencias de falla
- Jerarquización del riesgo. (p. 17)

La importancia de analizar los riesgos de los procesos industriales es explicada por Cartín, Villareal y Morera (2014) tal como sigue:

Elaborar la categorización cuantitativa de los riesgos presentes en cada etapa del proceso, para, posteriormente asignar un valor numérico a la severidad/gravedad, ocurrencia/frecuencia y detectabilidad de cada etapa que constituye el diagrama de flujo del proceso, (...) para ello se debe usar una escala de clasificación de 1 a 5 conforme a los parámetros preestablecidos. (p. 138)

Uno de los puntos importantes de la metodología lo explica Bestraten *et. al.* (2004):

Debe identificarse el producto o parte del proceso incluyendo todos los subconjuntos y los componentes que forman parte del producto/proceso que se vaya a analizar, bien sea desde el punto de vista de diseño del producto/proceso o del proceso propiamente dicho. (p.3)

Enríquez (2016) en su investigación deja ver que:

La importancia del RCM radica en el hecho que impacta sobre los 3 factores que determinan el desempeño de un activo, esto es:

- Confiabilidad inherente, relacionada a como fue diseñado el equipo o como será diseñado el equipo para el caso de instalaciones a construir.

- Contexto operacional, relacionado a cómo es o cómo será utilizado el equipo.
- Plan de mantenimiento, relacionado a cómo es o cómo será utilizado el equipo. (p .22)

2.2 Análisis de resultados de investigaciones previas

Martínez (2004) a continuación explica los resultados obtenidos al aplicar el AMEF en su investigación:

La meta de este proyecto fue minimizar la incidencia de defectos y partes faltantes de los productos ya existentes, es decir se analizaron líneas que ya se mantenían corriendo, y mediante una evaluación comparativa de DPMO (defectos por millón de oportunidades), y mediante una evaluación comparativa de DPMO y con un alto número en los retornos por consumidor, la línea de producción elegida fue la cual demostró fuertes ahorros y la reducción de porcentaje por devoluciones de cliente, por consiguiente se mantiene el prestigio de la marca. (p. 3)

Guillén (2015) en una investigación realizada sobre un Análisis de modos y efectos de falla para la Optimización de la efectividad global de los equipos (OEE) a través de estrategias de gestión de mantenimiento, concluyó que:

El análisis de modos y efectos de fallas potencial (FMEA) de proceso, con alcance en el subsistema Reactor del sistema unidad II, resultó conceptual y metodológicamente adecuado para la determinación de los riesgos de falla del reactor U2 XF-7036, descomponiendo el reactor en 39 partes, definiendo 52 modos de falla, sus causas y efectos. Se pudo evidenciar que 27 de los 52 modos de falla (51.92 %) no tienen registro y control histórico,

por lo que al analizar los tiempos de falla se asumieron los que proporciona el fabricante. (p. 145)

Asimismo, Quiroz (2018) en aplicar el AMEF concluyó que:

El RCM es una metodología que puede reducir los tiempos de reparación de los equipos durante el período operacional, debido a que, durante el desarrollo de su investigación, se identificaron los equipos críticos, se estudiaron las causas de fallo más comunes y se propusieron tareas de mantenimiento en función de la estimación de los tiempos de falla. La aplicación del AMEF realizado en la fase II sirvió para identificar las principales fallas, modos, efectos y consecuencias en el proceso. Se analizó la criticidad de cada modo de falla, sin embargo, se tomaron en cuenta todos los modos de fallo dado que los cuatro equipos seleccionados presentaban pocas fallas. (p. 66)

Esta información es relevante para la investigación en curso, pues es un criterio que podría ser aplicable luego de determinar las fallas, modos y efectos a los equipos críticos a determinar.

Vera (2018), aporta información importante al aplicar el AMEF:

Con este estudio propuesto se busca mejorar las condiciones de trabajo en operación y monitoreo, incrementar la seguridad y estandarizar los procedimientos y maniobras de operación para evitar posibles daños a los activos y principalmente daño a los operadores y mantenedores.

Durante la investigación, se revisó ampliamente el fundamento de la metodología, y se logró formar el grupo de trabajo con personal que trabaja

en la institución y que se encuentra directamente relacionado con los trabajos que se realizan en la subestación, al tomar información confiable para su análisis. Finalmente se logró obtener el plan de mantenimiento y operación basado en confiabilidad, sustentado y justificado y ha iniciado su formalización y difusión entre los intervinientes para mejorar sus competencias y habilidades, definir procedimientos y establecer estándares de operación y maniobra para evitar accidentes. (p. 8)

2.3 Análisis a nivel internacional

Villanueva (2017) realizó una investigación en Perú, quien explica que los paros no programados debidos a fallas repercuten en la calidad del servicio prestado al usuario final:

El presente estudio se justifica por cuanto la cantidad de interrupciones recurrentes del servicio producidas por fallas presentes en las redes de distribución de energía eléctrica, son recurrentes en el tiempo, lo que ocasiona paradas o cortes de energía no programados que afecta directamente a la producción y a la vez ocasiona pérdidas económicas tanto a la empresa como a los usuarios finales y a la población afectando la calidad del servicio. (p. 3)

Asimismo, Guillén (2015) en Ecuador, al realizar una investigación aplicando el AMEF con el fin de proponer una estrategia de mejora, explica:

Se logró proponer mejoras técnicamente adecuadas para incrementar la gestión de mantenimiento que conduce a optimizar la efectividad global de los equipos (OEE), principalmente del que presenta mayor criticidad y que

pueden maximizar la confiabilidad del proceso productivo de la unidad II de la empresa. (p. 147)

Cartín *et. al.* (2014) en el estudio *Implementación del análisis de fallas y sus efectos en una planta de productos cárnicos en Costa Rica*, concluyó que:

En este estudio se aplicó la metodología AMEF a la línea de producción de pavo deshuesado en la empresa costarricense. Se identificaron las etapas de almacenamiento y descongelación, como los principales segmentos con tendencia a mostrar altos valores de IC. Las acciones correctivas sugeridas bajaron notablemente los valores del índice de criticidad por debajo del límite aceptable.

La compatibilidad y la practicidad de la metodología AMEF permite que tanto su gestión como elaboración puedan ser llevadas a cabo por los médicos u otros profesionales veterinarios, que diariamente trabajan de forma interdisciplinaria y conjunta en las plantas de proceso de productos de origen animal. (pp. 145-146)

2.4 Análisis a nivel nacional

López (2019) en su propuesta de metodología basada en la confiabilidad, para la administración de inventarios de repuestos en la industria manufacturera, concluyó que:

La metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos en el sector objeto de estudio permite reducir el inventario, aumentar la rotación del inventario, reducir los costos de operación, mejorar la liquidez, mejorar los ciclos de pedidos de repuestos

críticos y controlar los tiempos de despacho por parte del fabricante del repuesto. (p. 113)

El análisis de confiabilidad es un tema vasto, pero genera beneficios al aplicarse a otras áreas administrativas.

2.5 Discusión de resultados de investigaciones previas

Aunque hay muchos diseños de investigación y tesis sobre los temas relacionados a esta investigación, todos concluyen en que el ahorro económico es uno de los motivos más fuertes para la implementación del RCM.

En Sudamérica, los estudios realizados mencionados en la sección respectiva, se encontró que, al implementar análisis de confiabilidad, se disminuye el riesgo de paradas inesperadas y cortes en la producción.

En México, Martínez (2004) explica que:

La mejora en el proceso de la línea se refiere al hecho de que este se encuentre produciendo sus productos aceptables, confiables y alcanzados ventas que antes no se habían registrado en la planta, tanto que se extendió la cartera de intereses de fuertes clientes al conocer nuestros controles de manufactura y calidad. (p. 6)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se describe el problema general, su definición y cuáles son los problemas específicos que se esperan resolver con el tema de investigación. Asimismo, se delimita el problema y se describen las preguntas de investigación para alcanzar los objetivos planteados.

Se puede resumir la descripción general del problema como la ausencia de un diseño de investigación de un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) en equipos críticos de producción, aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.

Para poder abordar la investigación, los problemas específicos son:

- No se han identificado cuáles son los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.
- No se han establecido cuáles son los modos de falla y efectos de los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.
- Desconocimiento de cuáles son los procedimientos de confiabilidad para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la

confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.

La presente investigación se centrará en el análisis de los equipos críticos involucrados en el proceso de producción de las levaduras en una planta de fabricación ubicada en Guatemala.

No se cuenta con el permiso para utilizar la información y el nombre de la empresa, sin embargo, dado el aumento en paros no programados, se ha tomado la decisión de realizar la investigación basado en el funcionamiento teórico de una planta de fabricación de levaduras.

La pregunta principal del problema se describe como: ¿Qué debe de realizarse en un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) en equipos críticos de producción, aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala?

Las preguntas que ayudarán a resolver la principal interrogante son:

- ¿Cuáles son los equipos críticos de producción a considerar en un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala?
- ¿Cuáles son los modos de falla y efectos de los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala?

- ¿Cuáles son los procedimientos de confiabilidad para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala?

4. JUSTIFICACIÓN

La línea de investigación estará enfocada en el área de la Administración del mantenimiento, específicamente en el logro de una gestión del mantenimiento adecuada. La estrategia de mantenimiento se enfocará a los equipos críticos del proceso de producción.

Dada la competitividad en el mercado global, se hace necesario que la empresa cuente con una gran flexibilidad y cortos tiempos de respuesta, lo que hace necesario disponer de eficiencia de los equipos y del proceso productivo. Es importante determinar el tipo de mantenimiento más adecuado a realizar a los equipos representativos de la planta, por lo que es necesario analizar la función deseada y el perfil del riesgo para generar procedimientos y lapsos de tiempo.

Se dará énfasis en establecer las condiciones adecuadas para mantener con vida a las levaduras, pues cada variable a controlar puede significar su vida o muerte y por lo tanto pérdida de producto, también se debe tener la finalidad de mantener la inocuidad y evitar la proliferación de microorganismos no deseados o bien llegar a un punto de estrés que disminuya la velocidad de reproducción.

Los beneficios de la investigación incluirán información certera acerca de la productividad operativa de cada equipo, gastos de reparación y mantenimiento, así como el costo del ciclo de vida.

A partir de los resultados obtenidos del análisis, una empresa de producción de levaduras podrá comprender y controlar las fallas de los componentes físicos, al minimizar tiempos de paros no programados, accidentes laborales, entre otras. Al disminuir costos por reparaciones o mantenimientos que no son necesarios y con esto, tiempos de disponibilidad de la planta.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Realizar un diseño de investigación de un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) en equipos críticos de producción, aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.

5.2 Específicos

- Identificar cuáles son los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.
- Establecer cuáles son los modos de falla y efectos de los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.
- Enumerar cuáles son los procedimientos de confiabilidad para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.

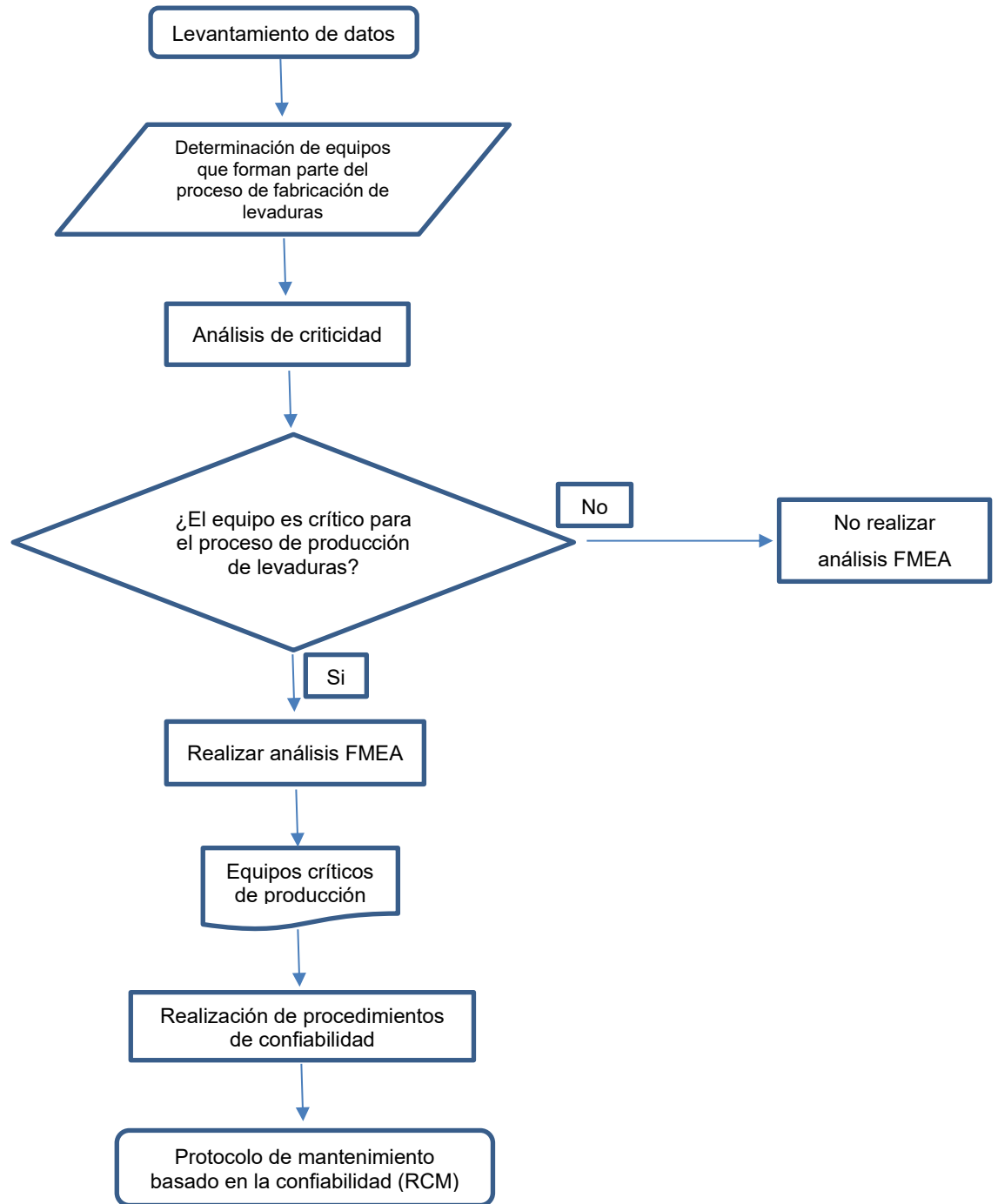
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El ahorro económico en cualquier actividad de mantenimiento es uno de los temas más importantes al implementar nuevas estrategias en una planta de producción. Los paros constantes no programados, como consecuencia de fallas inesperadas debilitan la confiabilidad de los equipos, por lo que tener el conocimiento de cómo mitigar el daño ocasionado o bien, estar preparados al nivel de repuestos, o protocolos de mantenimiento, ocasionará un ahorro a la hora de contabilizar tiempos perdidos por solucionar el problema.

El determinar cuáles son los equipos críticos en la fabricación de las levaduras, permite enfocar la atención en las acciones que mitigan el desgaste o alargarán su vida útil, para evitar pérdidas por tiempos de reparación o contemplados en los protocolos de mantenimiento.

Se busca encontrar la forma de un ahorro económico al disminuir los tiempos perdidos por mantenimientos correctivos y desgaste innecesario en los equipos.

Figura 1. **Esquema de necesidades a cubrir**



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan bases teóricas que ayudarán a alcanzar los objetivos planteados para la presente investigación.

7.1 Protocolos de mantenimiento

En Varela (2018), un protocolo de mantenimiento “es un listado de tareas a realizar en un tipo concreto de equipo. Dichas tareas pueden definirse en uno o varios procedimientos que especifique el alcance y las técnicas utilizadas” (p. XXII)

7.2 Técnicas de mantenimiento

Las diferentes técnicas enfocadas al mantenimiento a nivel industrial de una planta de producción consisten en diagnosticar y/o analizar fallos.

Fajardo (2014) indica que “los tipos de técnicas principales de mantenibilidad utilizadas por los departamentos de mantenimiento en las empresas son: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo” (p. 72).

Tal como lo indica Milano (2000):

Todos los usuarios esperan que sus equipos o sistemas estén en operación (o disponibles) tanto tiempo como sea posible. Pero, eso solo se puede lograr si se toman acciones de mantenimiento apropiadas, algunas de las

cuales son exigidas o sugeridas por los diseñadores o fabricantes (mantenimiento preventivo). Sin embargo, a pesar de estas acciones, el equipo puede dejar de funcionar, razón por la cual se hace necesario tomar otras acciones para ponerlo en funcionamiento (mantenimiento correctivo).
(p. 2)

7.3 Estrategias de mantenimiento

A continuación, se mencionan a grandes rasgos las principales estrategias de mantenimiento que se han desarrollado a lo largo de los años.

Tal como explica Duffuaa, Raouf y Campbell (2000):

- **Mantenimiento correctivo:** Este tipo de mantenimiento sólo se realiza cuando el equipo es incapaz de seguir operando. No hay elemento de planeación para este tipo de mantenimiento. Este es el caso que se presenta cuando el costo adicional de otros tipos de mantenimiento no puede justificarse. Este tipo de estrategia a veces se conoce como estrategia de operación hasta que falle. Se aplica principalmente en los componentes electrónicos.
- **Mantenimiento preventivo con base en el tiempo o en el uso:** El mantenimiento preventivo es cualquier mantenimiento planeado que se lleva a cabo para hacer frente a fallas potenciales. Puede realizarse con base en el uso o las condiciones del equipo.
- **Mantenimiento preventivo con base en las condiciones.** Este mantenimiento preventivo se lleva a cabo con base en las condiciones conocidas del equipo. La condición del equipo se determina vigilando

los parámetros clave del equipo cuyos valores se ven afectados por la condición de éste. A esta estrategia también se le conoce como mantenimiento predictivo. (p.33)

7.4 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Según Duffuaa *et. al.* (2000) “el RCM es desarrollado bajo el concepto de restablecer la función del equipo más que de llevar al equipo a una condición ideal” (p. 69).

Según García (2012) la definición formal del RCM, es la propuesta en la Norma SAE–JA 1011 de agosto de 1999:

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento, en la cual un equipo de trabajo multidisciplinario se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema productivo, (...), en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, considerando los posibles efectos que originan los modos de fallas de estos activos, en la seguridad, el ambiente y las funciones operacionales. (pp. 103-104)

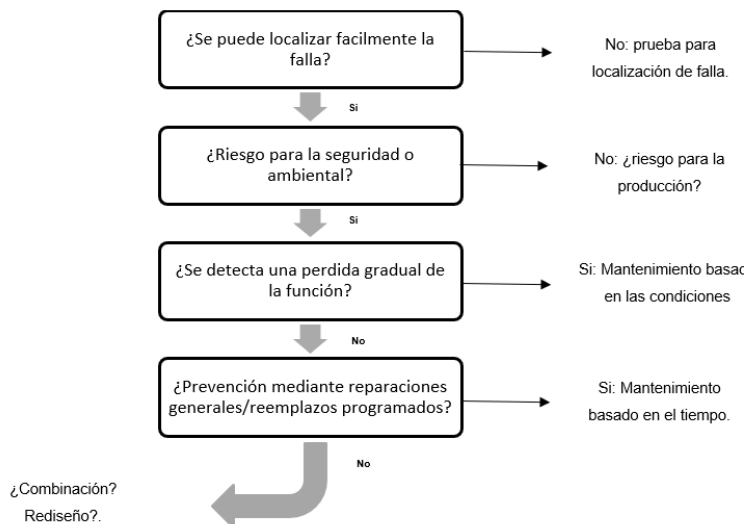
Para Duffuaa *et. al.* (2000):

La metodología sigue una serie de pasos:

- Seleccione los sistemas del equipo que sean más importantes para la planta, la instalación, la flotilla o algún otro activo.
- Defina el rendimiento o función esperada del equipo y, por lo tanto, que constituye una falla funcional.

- Identifique las causas fundamentales de la falla funcional.
- Determine el efecto, para estas causas, en una secuencia de eventos en términos de seguridad, ambiente, producción, o si es un evento oculto.
- Calcular el grado crítico del efecto.
- Emplear diagrama lógico para seleccionar la táctica de mantenimiento más apropiada para prevenir la falla. (Figura 2).
- Determinar la acción específica que prevenga la falla funcional y su frecuencia de programación, con base en un análisis de la historia del equipo o mediante la experiencia de expertos apropiados.
- Si no existe una tarea preventiva que sea apropiada, determine si puede operarse hasta que se presente la falla, si se justifica un rediseño, o si existe una prueba que pueda realizarse para determinar la falla. (p. 360-361).

Figura 2. **Diagrama de árbol lógico simplificado para el MCC**



Fuente: Duffuaa *et. al.* (2000). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control.*

7.5 Confiabilidad

Izquierdo, Areinamo, Izquierdo y Guevara (2014) describen a la confiabilidad de mantenimiento como:

Un parámetro que explora la capacidad de respuesta de los equipos, para que estos no fallen al estar en servicio, es por ello, que se desarrollaron enfoques conjuntos de las políticas de mantenimiento orientado a conceptos de cómo optimizar la práctica de mantenimiento, aspectos teóricos, enfoque basado en los parámetros de control en la gestión del mantenimiento, en tal sentido, si se tiene una falla, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable. (p. 4)

Nava (citado en Izquierdo *et. al.*, 2014) “define la confiabilidad de mantenimiento, como la probabilidad de que un componente o equipo no fallará al estar en servicio durante un período de tiempo determinado, cuando es operado en condiciones normales de diseño” (p. 5).

Para Izquierdo *et. al.* (2014):

La confiabilidad es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente, lo que debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen con lo requerido por el usuario en un contexto operacional y se debe aplicar a los equipos o sistemas críticos para la producción, la seguridad y el ambiente, los equipos o sistemas con altos costos de mantenimiento, y aquellos equipos los cuales presentan patrones de fallas de alta frecuencia. (p. 5)

7.6 Análisis de modos y efectos de fallas

Toda falla debe ser investigada para determinar las causas, sin embargo, habría que tomar en cuenta si el proceso es nuevo pues podrían ser fallas en el ajuste de los equipos, ajustes en la proporción de la materia prima, entre otros.

Guarimán (2005) explica que:

El AMEF es un método que nos permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan. De esta forma se podrán clasificar las fallas por orden de importancia, permitiéndonos directamente establecer tareas de mantenimiento en aquellas áreas que están generando un mayor impacto económico, con el fin de mitigarlas o eliminarlas por completo. (p. 26)

Las fallas se pueden clasificar, como explica Aguiar *et. al.* (2014):

Según el contexto en el que se haga la recolección de datos. Las fallas que se presentan dentro del rango nominal de un componente se denominan fallas primarias y las fallas que se presentan en condiciones no nominales afectadas por variables como temperaturas anormales, sobrepresión, sobrecarga, velocidad, vibraciones, corriente, contaminación, corrosión, entre otras se denominan, fallas secundarias.

El suceso de causas secundarias no siempre hace que ocurra una falla secundaria. Las fallas secundarias se pueden clasificar en:

- Fallas con causa común: La falla secundaria se induce en más de un componente. (Las catástrofes naturales son causas usuales de este

tipo: terremotos, inundaciones, huracanes, explosiones, fuego). Mal funcionamiento de otros sistemas o componentes también pueden inducir fallas en varios componentes.

- Fallas propagadas: En este caso la falla de un componente induce la falla de otro y pueden ser consideradas como fallas con causa común.
 - Fallas por error humano: Fallas causadas por errores humanos en la operación, mantención, inspección, los errores en la etapa de diseño, construcción e instalación del equipo; son considerados como fallas por error humano y no deben ser consideradas como fallas primarias.
- (p. 28)

Diaz y Quimbiurco (2008) indican que:

Uno de los puntos fuertes del RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus aspectos técnicos. De hecho, reconoce que la única razón de realizar cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas, si no evitar las consecuencias de las fallas. El proceso RCM clasifica las consecuencias en cuatro categorías:

- Consecuencias con fallas ocultas: No tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas.
- Consecuencias ambientales y para la seguridad: Una falla tiene consecuencias en la seguridad siempre y cuando cause lesiones y hasta la muerte a operadores o personal de mantenimiento. Mientras que tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo, regional y hasta internacional.
- Consecuencias operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto,

atención al cliente o costos operacionales) además del costo directo de la reparación.

- Consecuencias no operacionales: Las fallas involucradas en esta categoría no afectan la seguridad ni la producción, solo se relacionan con el costo directo de la reparación. (pp. 30-31)

7.6.1 Causas más comunes de las fallas en los equipos

Para determinar las causas más comunes de las fallas, es importante determinar la etapa de vida útil en la que se encuentra el equipo a analizar.

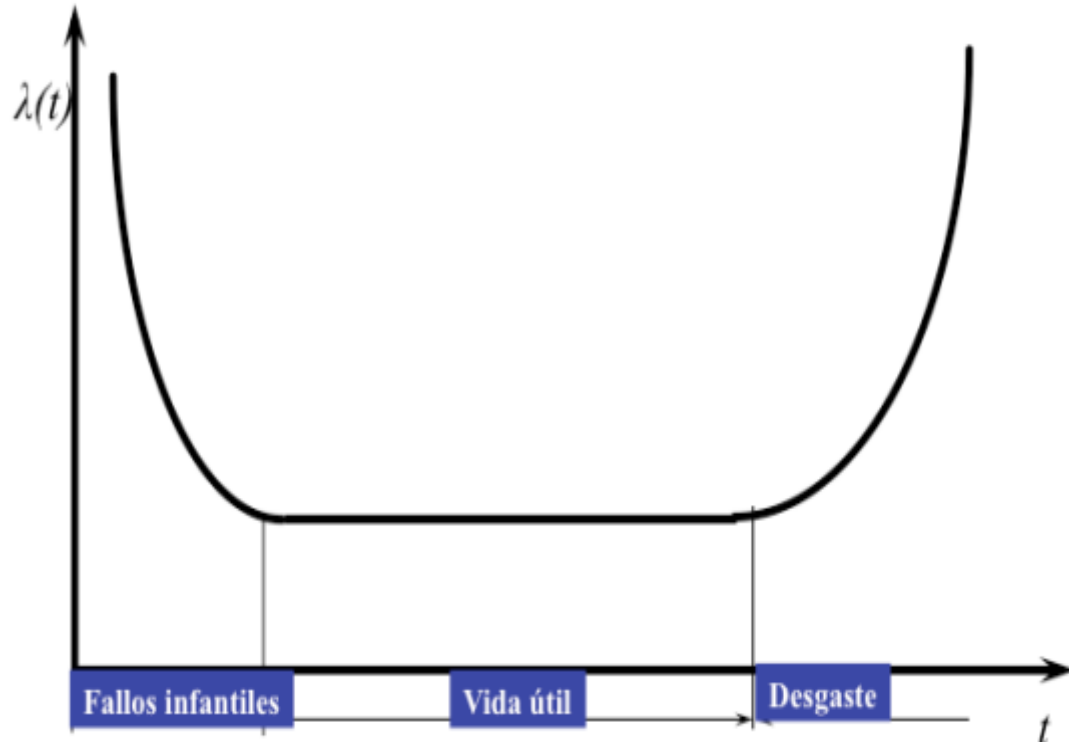
Según Aguiar *et. al.* (2014):

Las etapas de vida de un equipo están estructuradas en tres partes, las cuales son: la etapa infantil donde se reflejan las fallas primarias, la vida útil donde se generan las fallas aleatorias y la vida de desgaste en donde se representan las fallas de desgaste. La distribución de fallas de Weibull se puede utilizar como herramienta para hallar la etapa de vida de un equipo.

- Fallas primarias: Estas fallas pueden deberse a diferentes razones como ajuste de partes en los equipos, equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores de diseño del equipo, desconocimiento del equipo por parte de los operarios o desconocimiento del procedimiento adecuado.
- Fallas aleatorias: Las fallas no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por causas aleatorias externas. Estas causas pueden ser funcionamiento normal, cambio de partes necesarias, accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas u otros.

- Fallas de desgaste: Las fallas se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo. (p. 30)

Figura 3. **Distribución de fallas**



Fuente: Ruíz (2014). *Concepto de fiabilidad (Reliability)*.

Aguiar *et. al.* (2014) explica lo siguiente:

La zona de los fallos infantiles (área decreciente) se caracteriza por tener una alta probabilidad de falla que decrece rápidamente y hace referencia a equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores de diseño del equipo entre otros. Las fallas aleatorias (área constante) se producen por

causas externas al equipo que pueden ser: accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas u otros.

Finalmente, los fallos por desgaste (área creciente) del equipo debido al transcurso del tiempo. (p. 30)

7.7 El análisis de confiabilidad

González (2006) explica que:

El análisis de confiabilidad operacional está conformado por una serie de elementos intrínsecos a los procesos, así como a una serie de herramientas, los cuales al ser interrelacionados proporcionan la información referencial para la toma de decisiones en cuanto al direccionamiento de los planes de mantenimiento y mejores prácticas de operación. (p. 18)

Tal como indica López (2014) “el análisis de confiabilidad de un proceso se puede realizar mediante 3 métodos distintos: Diagramas de bloques, modos y efectos de falla y por último, por medio de Árbol de fallas” (p. 127).

7.8 Teoría de la confiabilidad

Tal como indica Navas (2012):

La probabilidad de que el elemento proporcione unos resultados satisfactorios en el instante t se puede definir como confiabilidad, la cual es designada como $R(t)$ por la mayoría de los autores que tratan el tema.

La confiabilidad $R(t)$ está relacionada con la función inversa llamada Infiabilidad $F(t)$ que tiene una probabilidad opuesta, o sea la probabilidad de que ocurra un fallo antes del instante t . (p. 11)

La Infiabilidad está dada por:

$$F(t) = 1 - R(t). \quad (\text{Ec. 1})$$

7.9 Levaduras

Suárez, Garrido y Guevara (2016) brindan una descripción bastante acertada de las levaduras:

Las levaduras son organismos eucariotas con gran diversidad respecto a su tamaño, forma y color. Son consideradas hongos unicelulares y generalmente sus células son ovaladas, pero también pueden encontrarse en forma esférica, cilíndrica o elíptica.

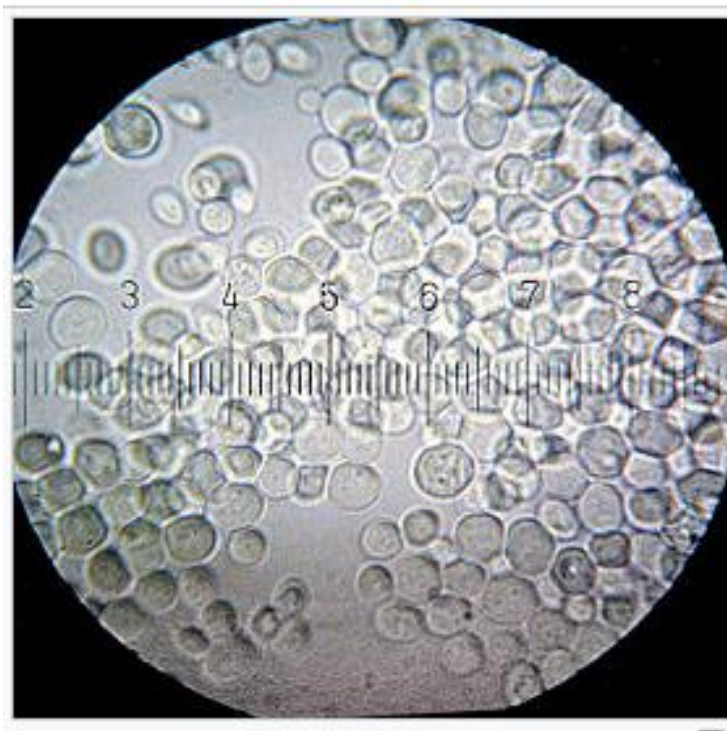
Son mayores que las bacterias, llegan a alcanzar un diámetro máximo de entre cuatro y cinco micrómetros. Se reproducen por fisión binaria o gemación y algunas pueden ser dimórficas o bifásicas y crecen como micelio bajo condiciones ambientales especiales.

Son resistentes a antibióticos, sulfamidas y otros agentes antibacterianos de forma natural. El uso más extendido está enmarcado en la panificación y en las industrias de fabricación de cerveza, vinos y alcohol. (p. 21)

Frazier, Westhoff (1993) complementa la información como sigue:

Las levaduras que se encuentran en los alimentos pueden ser beneficiosas o perjudiciales. Las fermentaciones producidas por levaduras intervienen en la elaboración de alimentos como el pan, la cerveza, los distintos tipos de vino, el vinagre y los quesos de maduración externa, cultivándose también para obtener enzimas y alimentos. Las levaduras son perjudiciales cuando producen la alteración del sauerkraut, de los zumos de frutas, de los jarabes de la melaza, de la miel, de las carnes, del vino, de la cerveza y de otros alimentos. (p. 41)

Figura 4. **Vista microscópica de levaduras**



Fuente: Blaylock (2010). *Saccharomyces cerevisiae* — baker's yeast.

7.9.1 Condiciones de desarrollo de levaduras

Para Ertola, Yantorno y Mignone, (2006):

Las levaduras, necesitan ciertas condiciones óptimas para su desarrollo. La temperatura óptima de desarrollo es entre los 25-28 °C. Por encima de los 35 °C, la actividad decrece rápidamente, y en torno a los 45 °C estos microorganismos mueren.

Por debajo de 10 °C, la mayor parte de las levaduras silvestres son inactivas, sin embargo, las levaduras comerciales pueden soportar amplios márgenes de temperatura.

De las fuentes de carbono y energía que pueden emplear el *Saccharomyces cerevisiae* figuran en primer lugar la glucosa y la sacarosa, aunque también pueden emplearse fructosa, galactosa, maltosa y suero hidrolizado; la levadura de cerveza no puede asimilar lactosa. También puede utilizarse etanol como fuente de carbono. El nitrógeno asimilable debe administrarse en forma de amoníaco, urea o sales de amonio. Ni el nitrato ni el nitrito pueden ser asimilados.

Aparte del carbono y el nitrógeno los macroelementos indispensables son el fósforo que se emplea comúnmente en forma de ácido fosfórico y el magnesio como sulfato de magnesio, que también provee azufre. Son también necesarios algunos elementos en menor medida como calcio, hierro, cobre y zinc. Un requerimiento esencial está constituido por las vitaminas del grupo B como biotina, ácido pantoténico, inositol, tiamina, piridoxina y niacina.

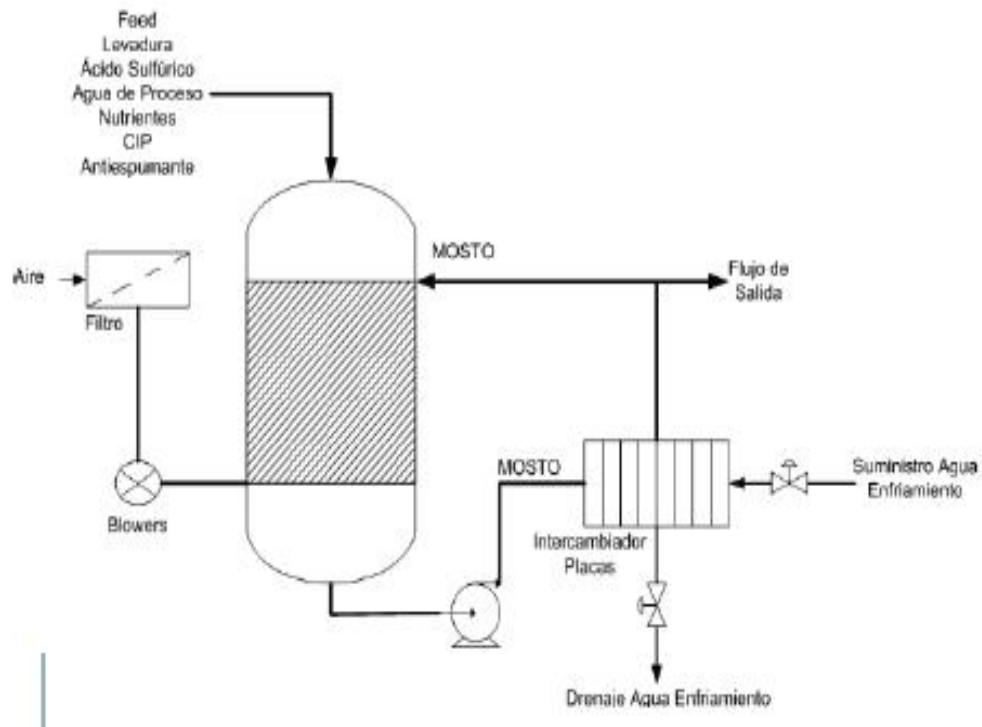
Los requerimientos cambian según las condiciones de cultivo; el aumento de la aerobiosis disminuye los requerimientos de la vitamina biotina y el uso de urea como fuente de nitrógeno los aumenta por la necesidad de biosíntesis de 3 sistemas enzimáticos que contienen biotina.

La importancia del oxígeno es crucial para la producción de levadura. Se necesita 1 g de O₂ para la producción de 1 g de levadura seca en el caso de crecimiento en condiciones óptimas. El O₂ se suministra con el aire que se inyecta en los medios durante la fermentación. Si existe limitación de O₂ no se puede alcanzar los rendimientos óptimos que deben estar cercanos al 100 % del teórico. (pp. 74-75)

7.9.2 Producción a nivel industrial

En la producción a nivel industrial - comercial de la levadura, se deben tomar en cuenta varios aspectos, los más importantes son: el medio, el proceso de producción y las siguientes etapas que conforman la separación, lavado y empaquetado. La presente propuesta de un protocolo de mantenimiento está enfocada en el proceso de producción, sin embargo, se mencionan los otros procesos para tomar en consideración su interrelación.

Figura 5. **Proceso de producción de levaduras**



Fuente: Ordóñez *et. al.* (2012). *Propuesta de automatización de un proceso de producción de inóculo de levadura a escala industrial para la producción de etanol.*

7.9.3 Medio de producción

La materia prima elemental es la melaza, ya sea de remolacha o de caña o ambas.

Tal como indica Ertola *et. al.* (2006):

Lo fundamental a considerar es la composición de la melaza, la presencia de inhibidores o sustancias extrañas que pudieran contener. La sacarosa

es el azúcar predominante en ambas melazas. Las melazas se utilizan generalmente diluidas al 50 %. (...) el mosto debe ser clarificado.

Algunas ventajas de utilizar mostos clarificados son que la levadura es más fácil para prensar y secar y que, además, la clarificación facilita la transferencia de oxígeno y reduce la formación de espuma, importante control en este proceso. La melaza es deficiente en algunos macroelementos como nitrógeno, fósforo, azufre, magnesio y zinc en la mayoría de los casos, por lo cual es necesario su agregado a los mostos. El nitrógeno como agua amoniacal y el fósforo como ácido fosfórico. (p. 77)

7.9.4 Proceso de producción a múltiple etapa

Ertola *et. al.* (2006) describe el proceso a múltiple etapa, como sigue:

Primera etapa (E1) que se realiza en frascos con medios de melaza o de malta con un 5 % de azúcares durante 2-4 días. A continuación, siguen 3 etapas consecutivas (E2, E3 y E4) realizadas en *batch* en condiciones estériles en fermentadores.

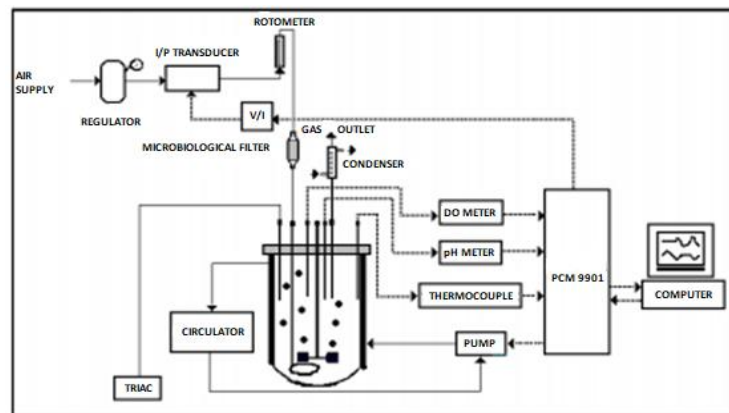
El tiempo de la etapa E2 es normalmente 24 horas y las etapas siguientes 9-11 horas. El factor crítico en esta etapa reside en la necesidad de emplear medios estériles para evitar contaminaciones prematuras que pueden perjudicar las etapas posteriores. Las etapas siguientes E5 y E6 se realizan al emplear el sistema de *batch* alimentado y en condiciones de alta aireación y con el mosto de melaza que ha sido sometido a un cocimiento a 100 °C. (p. 79)

Quaglia (1991) explica que:

La etapa final, que es la llamada comercial. En esta etapa la levadura recibe de una manera continua los elementos nutritivos necesarios para su crecimiento y multiplicación: (...). En un mosto fuertemente aireado la levadura puede consumir cada hora cerca de 0.1 g de nitrógeno por litro de mosto. Automáticamente se controla la densidad del mosto, su contenido en anhídrido fosfórico y ácidos amínicos, la acidez y el pH. La proliferación tiene lugar logarítmicamente gracias a una gran aireación (75 m³/h por m³ de mosto). En 10 – 12 horas, a 28 – 31 °C la cantidad de levadura aumenta 5 veces. No se continúa para evitar riesgos de una degeneración.

Llegado a este punto, se bloquea el envío de sales amoniacaes y se procede a madurar la levadura a una temperatura de 26 – 29 °C. El rendimiento que se obtiene es de aproximadamente 85-90 kg de levadura por cada 100 kg de melaza. (p. 224)

Figura 6. Equipos involucrados en el proceso de producción



Fuente: Boyacıoğlu, Ertunç y Hapoğlu, (2017). *Modelling of baker's yeast production*.

7.9.5 Separación, lavado y empaquetado

Quaglia (1991) asegura que:

La última operación de la fabricación industrial de la levadura consiste en la separación del mosto por centrifugación. El proceso se desenvuelve en tres estadios:

- Separación de la levadura del mosto fermentado
- Lavado con agua
- Concentración durante dos veces mediante separación por centrifugación.

Cuando la crema de levadura se enfría a temperatura aproximadamente de 8 °C se envía para su almacenamiento en depósitos de acero inoxidable con dispositivo de agitación. La conservación a baja temperatura tiene la función de bloquear el metabolismo de la levadura y de reducir al mínimo el crecimiento de microorganismos extraños. (p. 224)

Las operaciones de lavado son realizadas para reducir los sólidos no debidos a levaduras que pueden dificultar la filtración y oscurecer el color de la levadura prensada. La eficiencia del sistema de lavado está determinada por la concentración de los sólidos de levadura, la cantidad del agua usada y el contenido de sólidos del agua de dilución.

Ertola *et. al.* (2006) explica detalladamente que:

El proceso de separación produce una crema de levadura ligeramente coloreada que contiene hasta 22 % de sólidos debidos a células y

prácticamente libres de otros materiales. La crema es almacenada en tanques agitados a 2-4 °C con ajuste de pH a 2.5-3.5. Como la mayor parte de la levadura se vende como levadura prensada que contiene entre 27 y 30 % de materia seca, es necesario realizar una etapa de deshidratación de la crema (que contiene un 18-22 % de sólido) hasta esos valores, lo que se efectúa con filtros prensas o filtros rotatorios.

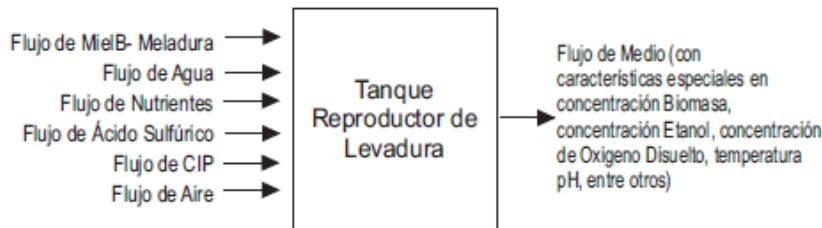
Finalmente, la levadura es extrudada en forma de panes de peso variable según las exigencias del mercado, que son envueltos en papel celofán o en otro tipo adecuado de papel.

Otra forma de terminar el proceso de producción es someter la crema de levadura a un filtrado y extrudado para producir partículas de 0.5 a 2 mm que son secadas en equipos de lecho fluidizado, lo que da origen a las llamadas levaduras secas activas o levaduras instantáneas con bajo contenido de humedad, que se envasan al vacío o en atmósfera de nitrógeno y que pueden conservarse por períodos prolongados a temperatura ambiente. (p.80)

7.10 Equipos críticos en la producción de levaduras

La reproducción de las levaduras se lleva a cabo en fermentadores, en los cuales se deben controlar ciertas variables que mantendrán la reproducción a un nivel adecuado para alcanzar la estabilidad o el rendimiento esperado. Cada instrumento de medición se vuelve crítico; se dependerá de la lectura que se obtenga del proceso, para tomar decisiones que permitan mantener las condiciones de reproducción a lo largo del proceso. Al mantener controladas las variables del proceso, se puede obtener la calidad y cantidad esperada en el tiempo estipulado (CONAMA, 1998).

Figura 7. Entradas y salidas físicas del tanque reproductor



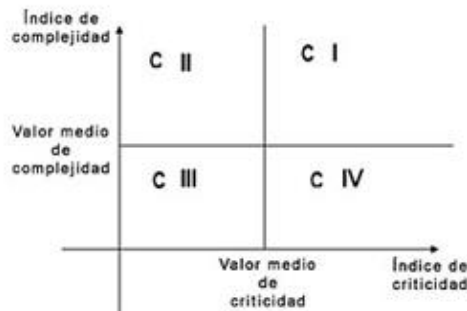
Fuente: Ordóñez *et. al.* (2012). *Propuesta de automatización de un proceso de producción de inóculo de levadura a escala industrial para la producción de etanol.*

7.10.1 Matriz de criticidad

A continuación, se presenta la matriz a utilizar para determinar los equipos críticos.

Figura 8. Ejemplo de matriz de criticidad

- Cuadrante I contiene los equipos de mayor índice de criticidad y de complejidad,
- Cuadrante II los equipos de mayor complejidad y menor criticidad,
- Cuadrante III los equipos de menor complejidad y criticidad y el
- Cuadrante IV los equipos de mayor criticidad y menor complejidad.



Fuente: Díaz *et. al.* (2012). *Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos.*

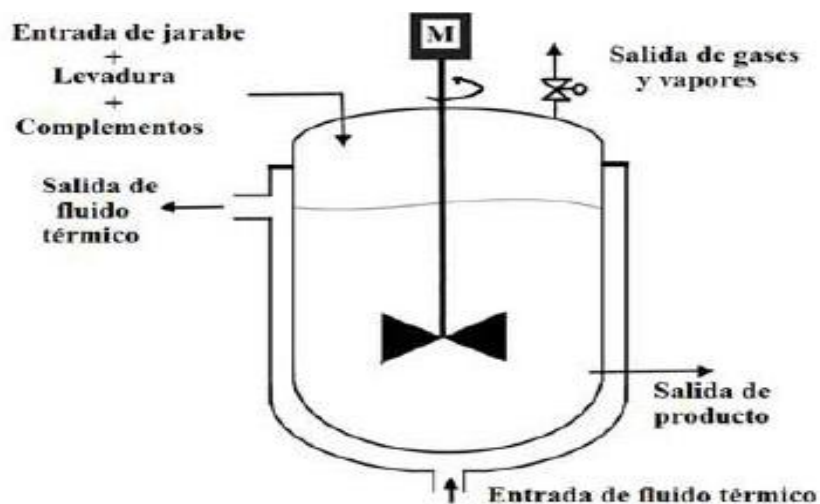
A continuación, se presentan algunos de los equipos involucrados en el proceso de producción y su descripción.

7.10.2 Fermentadores

Hochfeld (citado en Rojas y González, 2011) explica que:

Un fermentador es un recipiente que provee condiciones adecuadas a una cepa microbiana para que pueda para que pueda generar eficientemente un determinado metabolito. Actualmente el término fermentador o biorreactor pueden ser considerados como sinónimos. La eficiencia de un fermentador depende de la biomasa, el mantenimiento de las condiciones asépticas, la transferencia de masa y energía, y del mantenimiento de las condiciones óptimas de operación. (p. 19)

Figura 9. Diagrama de flujo de proceso de fermentación

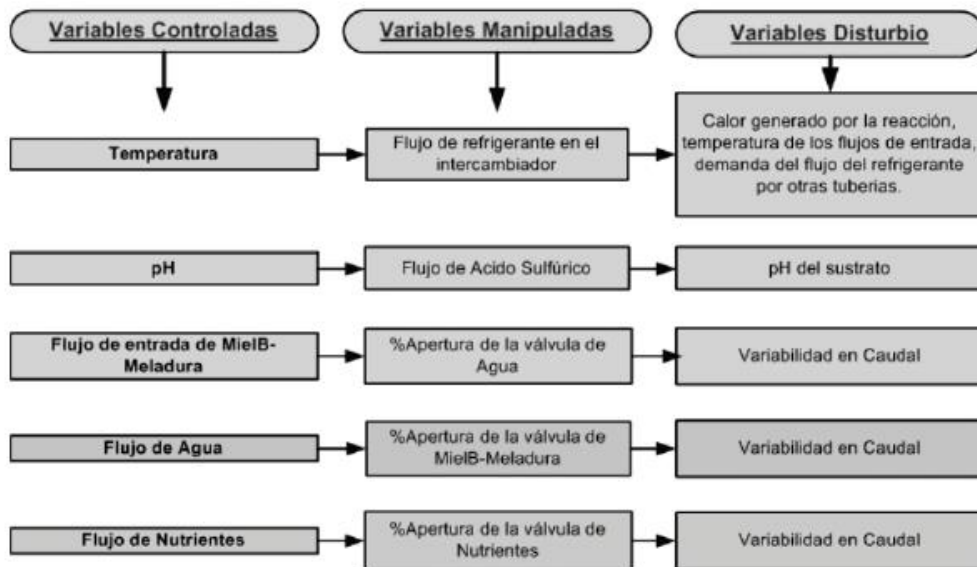


Fuente: Ortega *et. al.* (2016). *Modelo semifísico de base fenomenológica del proceso continuo de fermentación alcohólica.*

Tal como indica Perry *et. al.* (2008):

En la producción a nivel industrial de microorganismos, se puede dar una mezcla, por lo que es importante que predomine el microorganismo deseado, al mantener los valores determinados de pH, de temperatura, de potencial de oxidación-reducción, así como un medio o sustrato correctos. Si las condiciones cambian, se pueden perjudicar las velocidades de reproducción y con esto permitir que los organismos contaminantes prosperen. La figura a continuación identifica las variables importantes en el proceso de producción de las levaduras. (p. 96)

Figura 10. **Identificación de variables del proceso**



Fuente: Ordóñez *et. al.* (2012). *Propuesta de automatización de un proceso de producción de inóculo de levadura a escala industrial para la producción de etanol.*

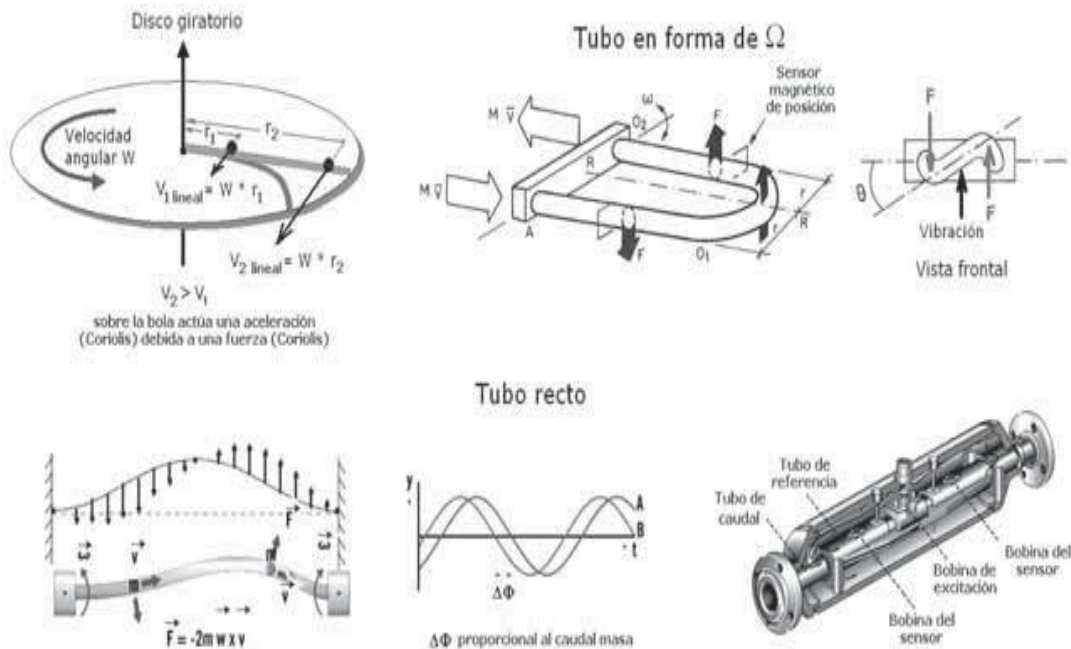
7.10.3 Medidores de flujo – Coriolis

Craus (2012) identifica los medidores de flujo:

Basado en el teorema de Coriolis, según el cual una masa m que se desplaza con una velocidad lineal V a través de una superficie giratoria, que gira con velocidad angular constante S , experimenta una velocidad tangencial (velocidad angular \times radio de giro) tanto mayor cuanto mayor es su alejamiento del centro. Si el móvil se desplaza del centro hacia la periferia experimentará un aumento gradual de su velocidad tangencia. Como el radio de giro aumenta gradualmente, la velocidad comporta una aceleración que, a su vez, es debida a una fuerza que actúa sobre la bola. Estas son, respectivamente, la aceleración y la fuerza de Coriolis.

La fuerza de Coriolis es, pues, una manifestación de la inercia del objeto según la primera ley del movimiento de Newton. Además, también es válida la segunda Ley de Newton (Fuerza = Masa \times Aceleración), lo que permite, al hacer circular el fluido por un tubo especial provisto de un mecanismo de vibración y de sensores de la fuerza desarrollada, determinar la caudal masa del fluido. (p. 189).

Figura 11. Esquema medidor de flujo



Fuente: Creus (2012). *Instrumentación industrial*.

7.10.4 Medidores de nivel por presión diferencial

Creus (2012) lo define como:

Consiste en un diafragma en contacto con el líquido que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque. En un tanque abierto, la presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico.

$$P = (H) \cdot (\gamma) \cdot (g) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

H = altura de líquido sobre el instrumento

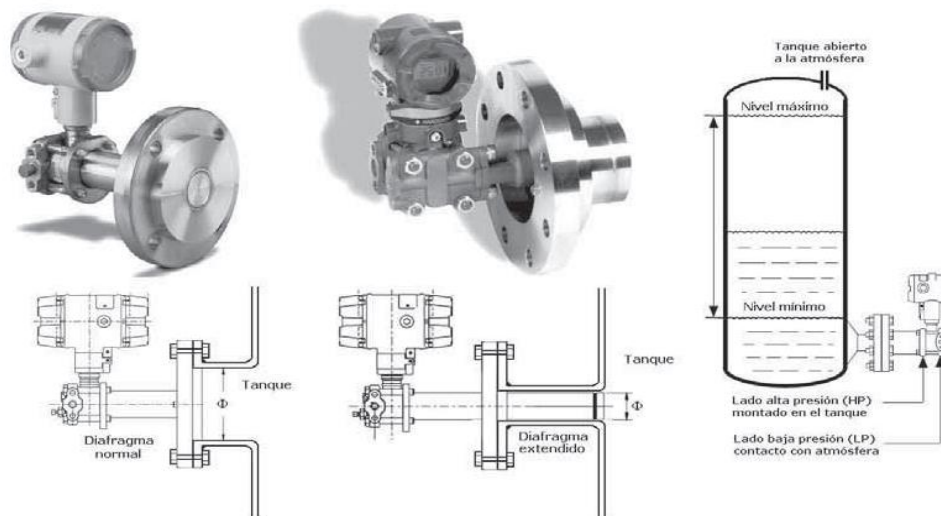
γ = densidad del líquido

P = presión

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$

El diafragma forma parte de un transmisor neumático, electrónico o digital de presión diferencial. Comúnmente el diafragma está fijado en una brida que se monta rasante al tanque para permitir, sin dificultades, la medida del nivel de fluidos, tales como pasta de papel y líquidos con sólidos en suspensión, incluso puede ser de montaje saliente para que el diafragma enrasc completamente con las paredes interiores del tanque. (p. 205)

Figura 12. **Medidor de presión**



Fuente: Creus (2012). *Instrumentación industrial*.

7.10.5 RTD (*Resistance Temperature Detectors*)

Creus (2012) lo describe como:

El elemento consiste, usualmente, en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.

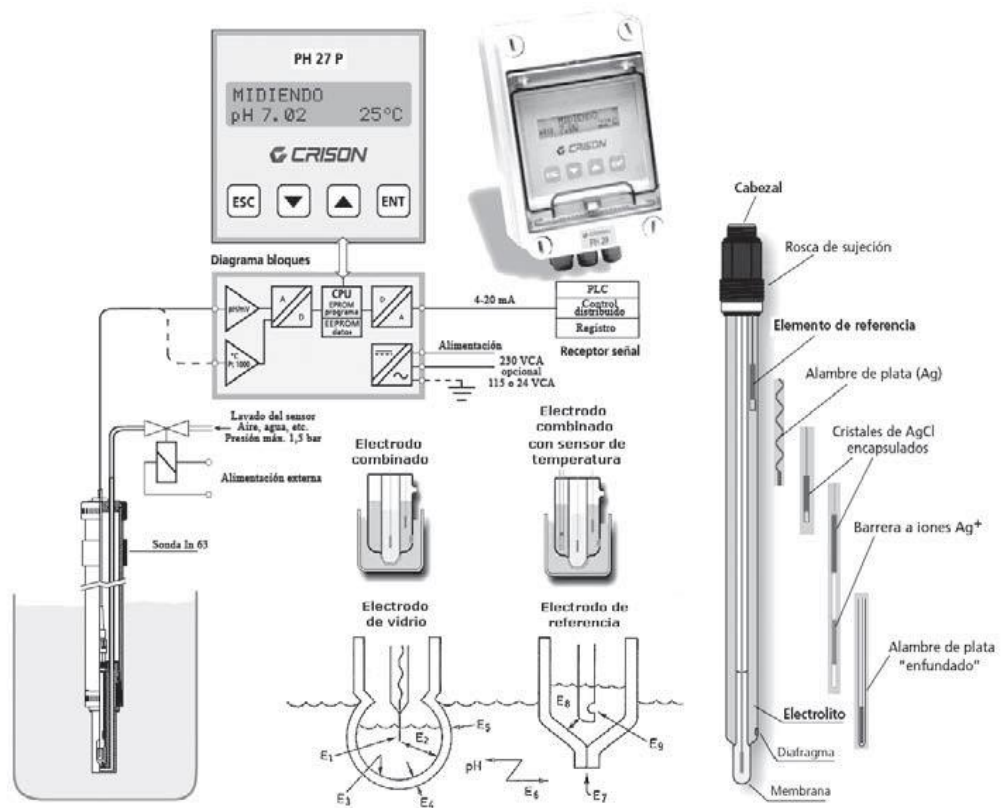
El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado coeficiente de temperatura de resistencia que expresa, a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura. (p. 240)

7.10.6 Medidor de pH ISFET

Creus (2012) indica que:

Es irrompible, de estado sólido y proporciona una respuesta muy rápida. El sensor posee una señal de pH de baja impedancia, lo que le da una gran fiabilidad, y tiene una larga duración, pues funciona en los líquidos más sucios y con más impurezas. Incorpora un electrodo de referencia recambiable. (p. 370)

Figura 13. Medidor de pH



Fuente: Creus (2012). *Instrumentación industrial*.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1 MARCO TEÓRICO

- 1.1. Estrategias de mantenimiento
- 1.2. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC)
- 1.3. Confiabilidad
- 1.4. Análisis de modos y efectos de fallas
 - 1.4.1. Causas más comunes de las fallas en los equipos
- 1.5. El análisis de la confiabilidad
- 1.6. Levaduras
 - 1.6.1. Condiciones de desarrollo de las levaduras
 - 1.6.2. Producción a nivel industrial
 - 1.6.3. Medio de producción
 - 1.6.4. Proceso de producción a múltiple etapa
 - 1.6.5. Separación, lavado y empaquetado
- 1.7. Equipos críticos en la producción de levaduras

- 1.7.1. Matriz de criticidad
- 1.7.2. Fermentadores
- 1.7.3. Medidores de flujo
- 1.7.4. RTD
- 1.7.5. Medidor de pH

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

- 2.1. Listado de equipos
- 2.2. Análisis de criticidad por cada tipo de equipo
- 2.3. Selección de los equipos críticos de producción

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 3.1. Análisis de modos y efectos de falla
- 3.2. Propuesta de protocolos de mantenimiento
- 3.3. Costos
- 3.4. Discusión de resultados

4. ANÁLISIS DE COSTOS / ANÁLISIS FINANCIEROS

- 4.1. Valor anual actual de mantenimiento
- 4.2. Valor anual proyectado con nueva propuesta

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1 Tipo de estudio

Para la realización del diseño de investigación de un protocolo de mantenimiento basado en la confiabilidad, se propone una investigación de tipo descriptiva no experimental, y determinar con un análisis cualitativo - cuantitativo la confiabilidad de los equipos críticos de una planta de producción de levaduras.

La investigación será no experimental; se recabará información para analizar y determinar equipos críticos, sus modos de falla y el mantenimiento basado en la confiabilidad. No se realizarán pruebas ni modificaciones al sistema actual. Al ser no experimental, se realizará un diseño descriptivo correlacional; se buscará un ahorro económico al proponer la implementación de un mantenimiento basado en la confiabilidad, se realizará una investigación exhaustiva sobre el comportamiento de los equipos en una planta de producción de levaduras.

Se propone un enfoque mixto; cualitativamente se analizarán las fallas más frecuentes en los equipos críticos y de forma cuantitativa se determinarán los valores de confiabilidad de los equipos analizados. Se realizará una investigación secundaria al tomar en cuenta investigaciones realizadas por otros autores.

9.2 Fases del estudio

La investigación se llevará a cabo en 3 fases, resumidas a continuación.

Fase 1, fase investigativa y revisión documental, se reunirá toda información útil en el mantenimiento de diferentes equipos aplicables al proceso de producción. Se realizará la recopilación acerca de la forma, tamaño, datos de proceso que hacen posible la transformación de la materia, así como las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo dicha transformación. Se realizará una investigación profunda acerca de lo necesario para llevar a cabo el mantenimiento de los diferentes equipos que se utilizan para la fermentación y la reproducción de los organismos vivos.

Fase 2, fase de desarrollo, consistirá en resumir y cimentar toda decisión sobre el mantenimiento que se llevará a cabo, se evaluarán los riesgos, criticidad, probabilidad de fallo de los equipos a tomar en cuenta en base a criterios definidos por el análisis de confiabilidad de cada equipo. Básicamente se deberán identificar equipos críticos de control y se analizarán los modos de falla y sus efectos.

Fase 3, fase final, se realizará la interpretación de resultados y la presentación del protocolo de mantenimiento.

9.3 Variables

En la siguiente tabla se muestran las variables involucradas en la investigación, así como su definición.

Tabla I. Definición de variables

Objetivo	Variable	Símbolo	Dependiente/ Independiente	Simple/ Compleja
Realizar un diseño de investigación de un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) en equipos críticos de producción, aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.	Protocolo de mantenimiento	N/A	Dependiente	Compleja
	Criticidad	Cr	Dependiente	Compleja
Identificar cuáles son los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.	Impacto operacional	IO	Independiente	Simple
	Flexibilidad operacional	FO	Independiente	Simple
	Impacto en seguridad, ambiente e higiene	ISAH	Independiente	Simple
	Consecuencia	CNS	Independiente	Simple
Establecer cuáles son los modos de falla y efectos de los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala	Frecuencia de la falla	n	Dependiente	Compleja
	Tiempo medio entre fallas	MTBF	Independiente	Simple
	Duración de la falla/Tiempo de reparación	MTTR	Independiente	Simple
	Modo de falla	MF	Dependiente	Compleja
	Efecto de falla	EF	Dependiente	Compleja
Enumerar cuáles son los procedimientos de confiabilidad para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala	Costos por mantenimiento	CM	Independiente	Simple
	Disponibilidad	D	Dependiente	Compleja

Fuente: elaboración propia.

9.4 Operacionalización de variables

En la siguiente tabla se describe la operacionalización de variables.

Tabla II. Operacionalización de variables

Problema	Variable	Definición	Dimensión	Indicador
No se ha realizado un diseño de investigación de un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) en equipos críticos de producción, aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.	Protocolo de mantenimiento	Serie de tareas a realizar a determinado equipo con el fin de mitigar daños ocasionados por el uso o desgaste normal.	S/D	Disponibilidad
				Eficiencia
				Rendimiento

Continuación tabla II.

No se han identificado cuáles son los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.	Frecuencia de la falla	Cantidad de fallos en determinado periodo.	n/t	Críticidad
	Consecuencia	Suma del impacto ambiental, personal, costo de reparación, al cliente e impacto producción.	N/A	
No se han establecido cuáles son los modos de falla y efectos de los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.	Modo de falla	Desviación del comportamiento esperado de un equipo.	n/t	Magnitud de fallas
	Efecto de la falla	Medición del impacto que ocasionará una falla en un equipo.	t	Tiempo medio entre fallas
Desconocimiento de cuáles son los procedimientos de confiabilidad para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala	Ahorro económico	Ahorro económico esperado al aplicar un protocolo de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM)	%	% Ahorro
			usd	Costo reparación

Fuente: elaboración propia.

9.5 Universo y población de estudio

El universo de estudio será una planta industrial de producción de levaduras. La población delimitará el área específica de producción.

9.5.1 Criterios de inclusión

Equipos críticos de producción en una planta de fabricación de levaduras, según evaluación de análisis de criticidad.

9.5.2 Criterios de exclusión

Equipos no críticos de producción en una planta de fabricación de levaduras, según evaluación de análisis de criticidad.

9.6 Hipótesis

- HO: No obtener un ahorro económico con el estudio de un protocolo de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) en equipos críticos de producción, en una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.
- HI: Obtener un ahorro económico con el estudio de un protocolo de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) en equipos críticos de producción, en una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

10.1 Muestreo

De la totalidad de equipos involucrados en el proceso de fabricación de levaduras, se tomará en cuenta los equipos considerados como críticos de producción según el resultado del análisis de criticidad, por lo tanto, es considerado muestreo no probabilístico.

10.2 Métodos de recolección de datos

Los métodos a utilizar serán de tipo barométrico; se utilizarán datos obtenidos en el pasado, para predecir el comportamiento en el futuro.

10.3 Técnicas de recolección de datos

La técnica a utilizar para la recolección de datos será el cuestionario. Los datos que conformarán la presente investigación serán recolectados de investigaciones previas en equipos similares. Los cuestionarios serán llenados por el investigador.

10.4 Instrumentos de recolección de datos

Se realizará un cuestionario que sirva de guía en la investigación de los diferentes modos de falla y sus consecuencias, así como el nivel de criticidad de cada equipo a tomar en cuenta para la presente investigación.

10.5 Procesamiento y análisis de datos

El investigador realizará un listado de equipos de una planta de fabricación de levaduras. Se determinarán los equipos considerados críticos al realizar el análisis de criticidad. Los datos necesarios se investigarán en bibliografía o bases de datos que no cuenten con derechos de autor y se hará referencia en el capítulo correspondiente.

Se determinarán los protocolos de mantenimiento basados en la confiabilidad para los equipos críticos y se determinará si se obtendrá un ahorro económico al aplicarlos.

La investigación se llevará a cabo en el área de producción de una planta de fabricación de levaduras. Equipos directamente involucrados en el proceso de fabricación que sean críticos, según el análisis de criticidad a realizar.

10.6 Obstáculos (riesgos y dificultades)

- No contar con los datos estadísticos de los equipos ubicados en la planta de producción.
- Datos de equipos similares de investigaciones previas podrían no ser idénticos (marca, principios de funcionalidad).
- Llenado incorrecto de cuestionario por parte del investigador.

11. CRONOGRAMA

La elaboración del diseño de investigación para el protocolo de mantenimiento se llevará a cabo en 6 meses, desglosados como se indica a continuación.

Tabla III. Cronograma

Nombre de tarea	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Aprobación de protocolo						
Fase 1: Levantamiento de datos - Revisión documental						
Fase 2: Análisis de criticidad - Identificación equipos críticos de producción						
Fase 3: Determinación de procedimientos de mantenimiento basados en el FMEA en equipos críticos de producción						
Fase 4: Elaboración de programa de mantenimiento						
Presentación de resultados						
Discusión de resultados						
Redacción de conclusiones						
Redacción de recomendaciones						
Redacción de informe final						

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

En el ámbito técnico, se cuenta con los equipos y herramientas necesarias para llevar a cabo la investigación, que son: computadora, instrumentos de recolección de datos, entre otros. La ingeniera asesora cuenta con experiencia comprobable de más de 10 años en temas relacionados con el mantenimiento, y haber sido docente de la maestría en Ingeniería de mantenimiento.

No se afectará en ningún momento el ambiente pues no se realizarán pruebas en sitio, con lo cual se hace factible ecológicamente al no impactar negativamente.

La presente investigación es factible desde el punto de vista económico; la inversión consta de un monto específico (ver tabla IV) y el tiempo del investigador, con el cual se cuenta. No se necesitan equipos o herramientas sofisticadas.

En el tema social, se considera que se pueden aportar conocimientos al realizar la presente investigación, en lugar de afectar negativamente luego de realizada.

12.1 Costo del estudio

La investigación se delimitará a ser una propuesta para implementar una estrategia de mantenimiento, por lo que los recursos se reducen a trabajo de escritorio y visitas técnicas para recabar información. El presupuesto lo proveerá el investigador. El recurso humano consistirá en el investigador, asesor de la

investigación y revisor de la investigación. Los materiales en resumen serán libros de consulta, hojas para realización de cuestionarios, diferentes artículos de oficina. El equipo necesario será un computador personal.

Tabla IV. **Costos del estudio**

	Materiales	Presupuesto
Humano	Investigador (4h diarias por 6 meses)	Q. 20 500.00
	Asesor	Q. 3 500.00
	Revisor (PAG1 – PAG2)	Q. 5 031.00
Físicos	Alquiler local	Q. 3 500.00
Materiales	1 computadora personal	Q. 7 500.00
	1 impresora	Q. 500.00
	Cartucho de tinta	Q. 250.00
	Servicio de internet	Q. 305.00
	Otros 10 %	Q. 3 000.00
Financieros	N/A	
	TOTAL	Q. 44 086.00

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Aguiar, L., y Rodríguez, H. (2014). *Análisis de modos y efectos de falla para mejorar la disponibilidad operacional en la línea de producción de gaseosas No. 3*. (Tesis de licenciatura). Universidad Libre de Colombia, Bogotá. Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7838/Doc%20Final%20Proyecto%20Armando%20y%20Leonardo%20sustentacion.pdf?sequence=1>
2. Aguilar, R., Torres, R. y Magaña, D. (junio, 2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(1), 15-26. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094003>
3. Cartín, A., Villareal, A. y Morera, A. (enero, 2014). Implementación del análisis de riesgo en la industria alimentaria mediante la metodología AMEF: enfoque práctico y conceptual. *Revista de medicina veterinaria*, 1(27), 133-148. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-93542014000100012&script=sci_abstract&tlng=es
4. Comisión Nacional del Medio Ambiente (1998). *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial*. Chile, Autor.

5. Creus, A. (2012). *Instrumentación industrial*. México: Alfaomega Grupo Editor.
6. Díaz, A., Pérez, F., Del Castillo, A. y Brito, M. (enero – abril 2012). Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos. *Ingeniería Mecánica*, 15(1), 34-43. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442012000100004&lng=es&nrm=iso
7. Díaz, C. y Quimbiurco, M. (2008). *Automatización del análisis de modos de falla y efectos FMEA en la ingeniería de mantenimiento aplicado para la industria ecuatoriana*. (Tesis de licenciatura). Escuela politécnica Nacional. Recuperado de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1054353>.
8. Duffua, S., Raouf, A. y Campbell, J. (2000). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*. New York: Limusa Wiley. Recuperado de https://www.academia.edu/15173781/Sistemas_de_Mantenimiento_Duffua_1
9. Enríquez, G. (2016). *Manual para la implementación de un modelo de gestión de mantenimiento para los equipos principales de generación de energía eléctrica de la central Paute Molino de CELEC EP HIDROPAUTE* (Tesis de maestría). Universidad del Azuay, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6372>

10. Ertola R. (2006). *Microbiología Industrial*. Argentina: OEA. Recuperado de http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/favela/Microbiologia_Industrial_Libro.pdf.
11. Fajardo, O. (2014). *Efecto del mantenimiento preventivo en los costos de las empresas industriales de la ciudad de Comayagua*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras. Recuperado de <http://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUNAH6331>
12. Frazier, W. y Westhoff, D, (1993). *Microbiología de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia S.A. Recuperado de https://www.academia.edu/40793210/DE_LOS_ALIMENTOS_4_a_edici%C3%B3n
13. García, O. (2012). *Gestión moderna del mantenimiento industrial*. Colombia: Ediciones de la U. Recuperado de <https://es.scribd.com/read/436221759/Gestion-Moderna-del-Mantenimiento-Industrial-Principios-fundamentales>.
14. González, R. (2006). *Diseño estrategia operación centrada en confiabilidad para Minera Spence S.A.* (Tesis de maestría). Universidad de Chile, Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102824>
15. Guariman, R. (2005). *Aplicación de técnicas de mantenimiento centrado en confiabilidad a máquinas de colada continua de planchones*. (Tesis de licenciatura). Universidad Simón Bolívar, Colombia.

Recuperado de <https://docplayer.es/88164845-Aplicacion-de-tecnicas-de-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad-a-maquinas-de-colada-continua-de-planchones.html>

16. Guillén, A. J. (2015). *Optimización de la efectividad global de los equipos (OEE) a través de estrategias de gestión de mantenimiento. Caso: unidad II de la empresa Negroven, S.A.* (Tesis de maestría). Universidad de Carabobo, Ecuador. Recuperado de <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/handle/123456789/2428>
17. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo (2004). *Análisis modal de fallos y efectos AMFE (679)*. España: Autor.
18. Izquierdo, H., Areinamo, P., Izquierdo, R. y Guevara, C. (julio, 2014). La confiabilidad del mantenimiento a través de un enfoque prospectivo. Caso Venalum, Venezuela. *Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014)*. Congreso llevado a cabo en Guayaquil, Ecuador.
19. López, E. M. (2019). *Propuesta de metodología basada en la confiabilidad, para la administración de inventarios de repuestos, en la industria manufacturera de empaques y envases para productos alimenticios, en el municipio de Guatemala*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_6148.pdf
20. Martínez, C. (2004). *Implementación de un análisis de modo y efecto de falla en una línea de manufactura para juguetes* (Tesis de

maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/1522/1/1020150046.PDF>

21. Milano, T. (s.f.) *Planificación y gestión del mantenimiento industrial*. Venezuela: Panapo. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/40088414/Teddy-Milano-Mantenimiento>
22. Navas, A. (2012). *Desarrollo e implementación de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad para una empresa manufacturera de fideos* (Tesis de maestría). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7794>
23. Ortega, F., Pérez, O. y López, E., (2016). Modelo Semifísico de Base Fenomenológica del Proceso Continuo de Fermentación Alcohólica. *Información tecnológica*, 24(1), 21-32. La Serena, Chile. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642016000100004
24. Perry, R. H., Green, D. W. y Maloney, J. O. (2008). *Manual del Ingeniero químico*. Mc Graw Hill.
25. Quaglia, G. (1991). *Ciencia y tecnología de la panificación*. España: Editorial Acribia, S.A.
26. Quiroz, H. A. (2018). *Propuesta de un mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), en el beneficio húmedo de café Manuel Sedas Rincón de Huatusco Veracruz*. (Tesis de maestría). Universidad Veracruzana, México. Recuperado de

<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/49403/QuirozVazquezHugo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

27. Rashuamán, R. (2019). *Modelo de gestión de mantenimiento para el incremento de disponibilidad de las máquinas en una planta de fabricación de bombas centrífugas*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional del Callao, Perú. Recuperado de <https://1library.co/document/y4w7jn9q-modelo-gestion-mantenimiento-incremento-disponibilidad-maquinas-fabricacion-centrifugas.html>
28. Rojas, C. y González, N. (2011). *Diseño conceptual de un fermentador para la producción de N-butanol a partir de glucosa empleando Clostridium acetobutylicum ATCC 824*. (Tesis de licenciatura). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. Recuperado de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/141184.pdf>
29. Suárez, C., Garrido, N. y Guevara, C. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. ICIDCA. *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(1), 20-28. ISSN: 0138-6204. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223148420004>
30. Varela, A. (2018). *Innovación y desarrollo tecnológico de los procesos y técnicas de mantenimiento para las válvulas en buques de última generación*. (Tesis de doctorado). Universitat Politècnica de Catalunya, España. Recuperado de <https://www.tesisenred.net/handle/10803/650833#page=1>

31. Vera, C. A. (2018). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM para el transformador de distribución de 250KVA y sistema de distribución de baja tensión 380/220 V de la subestación de TECSUP – Arequipa*. (Tesis de maestría). Universidad Católica de Santa María, Perú. Recuperado de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/7298/L1.1622.MG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

32. Villacrés, S. (2016). *Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo Hidrocleaner Vactor M654 de la empresa Etapa EP*. (Tesis de maestría). Escuela superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4749>

33. Villanueva, M.J. (2017). *Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad de las redes del sub sistema de distribución eléctrico 22.9/13.2 KV de San Gabán – Ollachea*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6688/EPG978-00978-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de consistencia

TEMA			
DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PARA UN AHORRO ECONÓMICO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) EN EQUIPOS CRÍTICOS DE PRODUCCIÓN APLICABLE A UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE LEVADURAS EN LA REPUBLICA DE GUATEMALA			
PROBLEMA	OBJETIVOS	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA
No se ha realizado un diseño de investigación de un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) en equipos críticos de producción, aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.	Realizar un diseño de investigación de un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) en equipos críticos de producción, aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.	¿Qué debe de realizarse en un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) en equipos críticos de producción, aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala?	<p>Universo: Planta de fabricación de levaduras en la Republica de Guatemala.</p> <p>Variables: Tiempo medio entre fallas, duración de la falla, frecuencia de la falla, costos por mantenimientos.</p> <p>Muestreo: Equipos críticos de producción, en una planta de fabricación de levaduras en la Republica de Guatemala.</p> <p>Tipo y diseño de investigación: Tipo de estudio no experimental, consistente en el diseño de un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) en equipos críticos de producción, en una planta de fabricación de levaduras en la Republica de Guatemala. La investigación será de tipo descriptiva.</p>
PROBLEMAS SECUNDARIOS	ESPECÍFICO	PREGUNTAS ESPECÍFICAS	
No se han identificado cuáles son los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.	Identificar cuáles son los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala.	¿Cuáles son los equipos críticos de producción a considerar en un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala?	<p>Unidad de análisis: Equipos críticos de producción, en una planta de fabricación de levaduras en la Republica de Guatemala.</p> <p>Unidad de análisis de muestreo: Un equipo de cada tipo.</p> <p>Unidad de análisis: Un equipo de cada tipo.</p> <p>Unidad de información: Un equipo de cada tipo.</p> <p>Hipótesis: N/A</p>

Continuación apéndice 1.

<p>No se han establecido cuáles son los modos de falla y efectos de los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la Republica de Guatemala</p>	<p>Establecer cuáles son los modos de falla y efectos de los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la Republica de Guatemala</p>	<p>¿Cuáles son los modos de falla y efectos de los equipos críticos de producción a considerar para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la Republica de Guatemala?</p>	<p>Selección de los sujetos de estudio: Criterios de inclusión: Equipos críticos de producción, según evaluación de Análisis de criticidad. Límites de la investigación: Obstáculos (riesgos y dificultades): Investigación del comportamiento teórico de los equipos. Aspectos éticos de la investigación: Principios éticos generales: Beneficencia y no maleficencia: Obtención de datos en la literatura disponible. Autonomía: Obtención de datos en la literatura disponible. Respeto por las personas: No se realizarán juicios personales a pensamientos u opiniones de las personas que se llegarán a involucrar en la presente investigación. Categorías de riesgo: Categoría I (sin riesgo): No se realizarán intervenciones a equipos, instalaciones o procesos. No se invadirá la intimidad de las personas.</p>
<p>Desconocimiento de cuáles son los procedimientos de confiabilidad para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala</p>	<p>Enumerar cuáles son los procedimientos de confiabilidad para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala</p>	<p>¿Cuáles son los procedimientos de confiabilidad para un protocolo de mantenimiento para un ahorro económico basado en la confiabilidad (RCM) aplicable a una planta de fabricación de levaduras en la República de Guatemala?</p>	<p>Autonomía: Obtención de datos en la literatura disponible. Respeto por las personas: No se realizarán juicios personales a pensamientos u opiniones de las personas que se llegarán a involucrar en la presente investigación. Categorías de riesgo: Categoría I (sin riesgo): No se realizarán intervenciones a equipos, instalaciones o procesos. No se invadirá la intimidad de las personas.</p>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Instrumentos de recolección de datos

Cód. Equipo	Función	Parámetros de funcionamiento

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Instrumentos de recolección de datos

Área	Cód equipo	Función principal	Funciones secundarias

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Instrumentos de recolección de datos

Área	Cód. equipo	Función	código falla funcional	Falla funcional

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Instrumentos de recolección de datos

Código equipo	Función	Codificación falla funcional	Falla funcional	Codificación modo de falla

Fuente: elaboración propia.