

**Determinación de los factores que inciden en la confiabilidad
operacional en máquinas cosechadoras de camarón**

**Determination of the factors that affect the
operational reliability of shrimp harvesting machines**

Miguel Fernando Vélez-Solórzano¹
Universidad Técnica de Manabí - Ecuador
mvelez1980@utm.edu.ec

Yanelis Ramos-Alfonso²
Universidad Técnica de Manabí - Ecuador
yanelis.ramos@utm.edu.ec

doi.org/10.33386/593dp.2024.4.2537

V9-N4 (jul-ago) 2024, pp 442-468 | Recibido: 30 de abril del 2024 - Aceptado: 08 de mayo del 2024 (2 ronda rev.)

1 ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3751-6892>

2 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8383-1245>

Cómo citar este artículo en norma APA:

Vélez-Solórzano, M., Ramos-Alfonso, Y., (2024). Determinación de los factores que inciden en la confiabilidad operacional en máquinas cosechadoras de camarón. 593 Digital Publisher CEIT, 9(4), 442-468, <https://doi.org/10.33386/593dp.2024.4.2537>

Descargar para Mendeley y Zotero

RESUMEN

Las empresas dedicadas al cultivo de camarón se encuentran en un plan de tecnificación de las granjas para aumentar la productividad y mantener la calidad del producto hasta llegar al consumidor final, un aporte para lograr este objetivo es utilizar máquinas cosechadoras disminuyendo el daño del producto. El objetivo del presente trabajo consistió en determinar los factores que inciden en la confiabilidad operacional en máquinas cosechadoras de camarón en condiciones de cautiverio en la zona costera de Ecuador, alineado a la seguridad, los costos y efectos ambientales. El estudio realizado es de tipo cuantitativo, no experimental, descriptivo y transversal, basado en la metodología para el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), con la utilización del método de Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMEF). Los resultados obtenidos mostraron que el indicador de confiabilidad se ve afectado principalmente por los tiempos de reparación de los elementos de alta criticidad, generado principalmente por la carencia de protocolos específicos de mantenimiento y el entrenamiento adecuado en todos los niveles de la organización, lo que provoca fallos humanos mayoritariamente.

Palabras claves: mantenimiento, confiabilidad, criticidad, AMEF, disponibilidad.

ABSTRACT

Companies dedicated to shrimp farming are in a plan to modernize farms to increase productivity and maintain the quality of the product until it reaches the final consumer. One contribution to achieving this objective is to use harvesting machines, reducing product damage. The objective of this work was to determine the factors that affect the operational reliability of shrimp harvesting machines under captive conditions in the coastal zone of Ecuador, aligned with safety, costs and environmental effects. The study carried out is quantitative, non-experimental, descriptive and transversal, based on the methodology for Reliability Centered Maintenance (RCM), with the use of the Failure and Effects Modal Analysis (FMEA) method. The results obtained showed that the reliability indicator is mainly affected by the repair times of highly critical elements, generated mainly by the lack of specific maintenance protocols and adequate training at all levels of the organization, which causes mostly human failures.

Keywords: maintenance, reliability, criticality, FMEA, availability.

Introducción

El camarón ha sido en las últimas décadas la especie marina de mayor relevancia dentro del comercio exterior, siendo Ecuador el mayor productor de camarón en cautiverio en el mundo. La industria del camarón da empleo directo a 195.000 personas, generando US \$6.653 millones al año en exportaciones, un rendimiento solo superado por el petróleo [1].

Las empresas dedicadas al cultivo de camarón se encuentran en un plan de tecnificación de las granjas para aumentar productividad y mantener la calidad del producto hasta llegar al consumidor final, [2] un aporte para lograr este objetivo es utilizar máquinas para realizar el proceso de cosecha, disminuyendo el daño del producto.

En el camino de incrementar la productividad mediante la tecnificación, uno de los aspectos a considerar es el adecuado mantenimiento de la maquinaria, para evitar las paradas por rotura, daños al producto y accidentes laborales, por lo que es vital cuidar la confiabilidad operacional de dichas máquinas.

Para Díaz Concepción A. (2020), la confiabilidad operacional es la acción sinérgica del equipamiento, el recurso humano y el proceso tecnológico, para lograr que un sistema técnico complejo cumpla las funciones requeridas en un tiempo y contexto operacional determinados. Puede ser expresada a través de un indicador. También deja claro que puede ser representada a través de un valor numérico y los análisis que se deriven de este pueden apoyar a las organizaciones en la toma de decisiones para la mejora de la confiabilidad operacional. El costo queda como un elemento no tratado de forma directa en la matriz y por ende en el modelo matemático del indicador que se derive de la misma”

Para llevar a cabo una buena gestión estratégica de mantenimiento, Mesa (2006), se propician tres disciplinas la confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad. Definiendo a la confiabilidad como la “confianza” que se

tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación.

Para Díaz Concepción A. (2020) el elemento humano es la parte más flexible, adaptable y valiosa de un sistema, pero es también la más vulnerable a influencias que pueden afectar negativamente su comportamiento, definiendo la confiabilidad humana como la probabilidad de la no ocurrencia de una acción humana que influya en el origen y desarrollo de un efecto no deseado. Además, involucra grandes cambios en las organizaciones pues exige una cultura de desafío permanente, mediante acciones que buscan esencialmente recuperar el valor de las personas, incrementar sus capacidades físicas y fisiológicas, experiencia profesional, mejorar el entrenamiento y las condiciones de sus puestos de trabajo para aumentar su capacidad de gestión y colaborar de manera permanente en el logro de los objetivos empresariales.

Para dar un seguimiento que permita medir la confiabilidad operacional de la máquina se deben buscar como herramienta indicadores de confiabilidad que permitan medir cuantitativamente el rendimiento de las propuestas de mejora. Para Hung [3], el sistema considera la fiabilidad inherente o propia del equipo/instalación, asegurar la continuidad del desempeño de la función del equipo, mantiene la calidad y capacidad productiva (si se desea aumentar la capacidad, mejorar el rendimiento, incrementar la confiabilidad, mejorar la calidad de la producción se necesita un diseño que considere la condición operacional: donde y como se está usando).

En ese contexto, una metodología ampliamente aplicada se basa en la norma SAE JA1011, en la cual se establecen los criterios mínimos a definirse como RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad), siendo una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos. El RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que

la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga.

Una vez determinados los elementos críticos se establece un análisis causal, para determinar los factores que inciden en la ocurrencia de fallos y la efectividad de la gestión de la empresa, como base para la identificación de acciones preventivas que maximicen la confiabilidad operacional.

Según Gasca (2017) este sistema se implementa de forma ágil, fácil y económica, utilizando una aplicación de hojas de cálculo, obteniendo como resultado: la jerarquización de los equipos, los catálogos de fallas sistematizados de los equipos con criticidad alta, el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y la gráfica de la confiabilidad del equipo o subsistema. Además, encontró que el cálculo del MTBF se realiza en forma dinámica a partir de los registros de las fallas y las acciones de mantenimiento preventivo y correctivo asociadas a éstas y no en la distribución uniforme de la vida útil del equipo. Resultados que son considerables en el rediseño de las labores de mantenimiento.

De forma adicional Hung (2019), indica que este sistema considera la fiabilidad inherente o propia del equipo/instalación para asegurar la continuidad del desempeño de la función del equipo, mantiene la calidad y capacidad productiva (si se desea aumentar la capacidad, mejorar el rendimiento, incrementar la confiabilidad, mejorar la calidad de la producción se necesita un rediseño), en función de la condición operacional: donde y como se está usando.

De lo expuesto por Mesa (2006), el RCM es utilizado con frecuencia no solo para identificar tareas de mantenimiento, también se utiliza como marco de referencia para analizar el riesgo en equipos, clasificar por importancia los componentes significativos para el mantenimiento o detectar áreas de oportunidad de mejora en el mantenimiento de equipos complejos. Adicionalmente indica que la metodología del RCM puede integrarse con otras metodologías tales como el mantenimiento

radical, el mantenimiento basado en la condición y el proceso de jerarquía analítica.

Para Páez (2022) citando a los autores Moubray (2004) identificó la confiabilidad del intervalo de búsqueda de fallas para establecer las actividades, planes y metas de una organización. Esta se encuentra orientada a la coordinación de medidas que involucran a todas las tareas directivas, tales como mantenimiento, distribución, planificación, disciplina, gestión, desarrollo y control de reglas de organización. Estas tareas, a su vez, desde el punto de vista de la calidad, permiten una distribución efectiva y organizada del trabajo y la oportunidad para favorecer la innovación tecnológica de nuevos modelos organizativos que comparten el desempeño para promover la mejora continua en el sistema de desarrollo (Lascurain, 2017).

La figura 1 muestra los cuatro pilares de la confiabilidad integral; confiabilidad de proceso, confiabilidad humana, confiabilidad de equipos y mantenimiento de los equipos de acuerdo a lo establecido por Concepción (2020).

Figura 1.
Diagrama de confiabilidad operacional y sus elementos integrantes



Nota: Tomado de Concepción (2020)

La presente investigación se desarrolla en una granja camaronera ubicada la zona costera del Ecuador. Cuenta con 4 cosechadoras, las cuales siguen un plan de mantenimiento programado recomendado por el proveedor, sin embargo, este plan ha generado varios eventos que inciden en la disponibilidad operacional de la máquina haciendo que el personal encargado de mantenimiento se concentre en trabajos emergentes, las fallas inesperadas han incrementado los costos operativos.

El funcionamiento de la cosechadora de camarón es mecánico e hidráulico, es decir, cuenta con una unidad motriz que genera la fuerza hidráulica para que el producto llegue a una bomba comúnmente llamada caracol, esta impulsa agua y producto, sin dañar el mismo, lo envía a una tolva donde son separados. Cumple el objetivo de extraer y separar al camarón del agua del estanque a través de un sistema hidráulico que no daña el producto, a tal grado que, ni siquiera las antenas del camarón sufren algún daño, cumpliendo con los requerimientos necesarios para la exportación de este.

En consecuencia, con lo antes abordado, el objetivo del presente trabajo consiste en determinar los factores que inciden en la confiabilidad operacional de las máquinas cosechadoras de camarón en condiciones de cautiverio, como base para su buen funcionamiento, contribuyente a la productividad de la cosecha.

Materiales y Métodos

Las máquinas cosechadoras se encuentran en una granja camaronera ubicada geográficamente en la ciudad de Naranjal, provincia de Guayas, km 15 1/2 vía Naranjal-Machala, diagonal al recinto Jaime Roldós Aguilera, zona costera de la República de Ecuador.

En la investigación se midieron los datos de fallos de las cosechadoras, desde el periodo agosto 2021 – julio 2023 a fin de obtener sus variables operacionales, para lo cual se recurrió a la bitácora de registro de fallas del departamento

de mantenimiento. El estudio realizado es de tipo descriptivo, no experimental, transversal y de campo, la figura 1 muestra el camino metodológico considerado para el desarrollo de la investigación.

Figura 2.
Programa General de la Investigación.



Nota: Elaborado a partir de Parra (2020)

Siguiendo las metodologías de Parra (2020), Campos Avella (2016) y Acosta (2017), los instrumentos empleados en la presente investigación son: la matriz de criticidad con la cual se determinará el número de equipos significativos, los manuales de operación en los que se refleja el funcionamiento esperado de los equipos, los reportes de mantenimientos en los que reposa todo el historial de fallas de los equipos, la matriz de análisis de modo y efecto de las fallas y la metodología RCM para la elaboración del nuevo plan de mantenimiento.

Descripción operacional

El primer paso en la implantación del RCM es la selección de los sistemas o equipos a los que se va a aplicar esta metodología. Se determinan las partes de las instalaciones a estudiar y la parte o elementos que quedarán excluidos de ese estudio y, una vez delimitado el sistema a estudiar.

Para definir los límites se realizaron dos preguntas (Moubray, 2004):

¿Cuál debería ser el nivel de detalle que se requiere para realizar el análisis de los modos y efectos de fallos del sistema seleccionado?

¿Debería ser analizada toda el área seleccionada, y si no es necesario, que debería hacerse para seleccionar la parte a analizar y con qué prioridad deben analizarse cada una de las partes?

Bajo los límites establecidos, se realiza la descripción del sistema a analizarse, desde lo general a lo más específico, detallando la importancia del equipo para la operación. En la tabla 1 se listan los equipos en estudio, se detalla la codificación del activo, su placa, tipo, descripción, marca, motor, modelo y serie.

Clasificación de los activos

En este paso se clasifican los activos dígame cualquier pieza de equipo, propiedad u otro elemento físico utilizado en las operaciones, particularmente relacionado a las máquinas cosechadoras de camarón. Los mismos deben identificarse de acuerdo con el código que lo identifica dentro del sistema de mantenimiento establecido por la empresa.

Cálculo de indicadores:

En este paso se procede al cálculo de los indicadores esenciales de mantenimiento, los que se mencionan seguidamente:

Disponibilidad, La disponibilidad se define (Grajales, 2006) como la confianza de un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado y puede calcularse de la siguiente forma:

$$DISPONIBILIDAD = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (1)$$

Donde Saetta (2018) define las variables del cálculo como:

MTBF: Tiempo medio entre averías (Mean Time Between Failures), es el tiempo de producción promedio transcurrido entre una falla y otra.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo dispoble de producción}}{\text{Paradas de máquinas+Otras paradas}} \quad (2)$$

MTTR: Tiempo medio de reparación (Mean Time To Repair), es el tiempo que lleva ejecutar una reparación después de la ocurrencia de una falla. Es decir, es el tiempo empleado durante la intervención de un proceso dado.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de paradas de máquinas+Tiempo de otras paradas}}{\text{Paradas de máquinas+Otras paradas}} \quad (3)$$

Mantenibilidad y confiabilidad

Una vez determinado lo que es el MTBF y MTTR se dispone de la ecuación antes dada de disponibilidad además de ocupar otros indicadores que se deben tener en cuenta para conocer la criticidad de las máquinas, los cuales se detallan a continuación.

Confiabilidad: es la probabilidad de que una unidad de producto se desempeñe satisfactoriamente cumpliendo con su función durante un periodo de tiempo diseñado y bajo condiciones previamente especificadas. Acuña, J. A. (2003).

La confiabilidad del equipo va a ser calculada a través de la expresión:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (4)$$

R(t): Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado

e: constante Neperiana (e=2.303..)

λ : Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación)

t: tiempo

La confiabilidad es la probabilidad de que no ocurra una falla de determinado tipo, para una misión definida y con un nivel de confianza dado.

Mantenibilidad: La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado

en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos. Acuña, J. A. (2003)

De manera análoga a la confiabilidad, la mantenibilidad puede ser estimada con ayuda de la expresión:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (5)$$

Donde: M(t): es la función mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el tiempo t=0 y sea concluida satisfactoriamente en el tiempo t (probabilidad de duración de la reparación).

e: constante Neperiana (e=2.303..)

μ: Tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.

t: tiempo medio de reparación TTTR

Identificación de tareas críticas

Identificadas las unidades más problemáticas, se analizará sus tareas críticas por medio del uso de la técnica de matriz de criticidad total por riesgo. Utilizando la metodología de Parra (2020) se dan valores del 1 a 5 dependiendo de la frecuencia y consecuencia asociadas al daño a la seguridad y salud, el medio ambiente y los costos. La tabla 1 muestra el criterio de frecuencia (probabilidad de ocurrencia del evento de fallo estudiado).

Tabla 1.
Grado de frecuencia de un modo de fallas

Frecuencia	Criterio	Valor
Menos de 1 evento en 5 años	Sumamente improbable: Ningun fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible	1
1 evento en 5 años	Improbable: Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es muy poco probable que suceda	2
1 evento en 3 años	Posible: Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá en la vida del componente/sistema	3
entre 1 y 3 eventos al año	Probable: El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	4
más de 3 eventos por año	Frecuente: Fallo casi inevitable	5

Nota: Tomado de Parra (2020)

La tabla 2 muestra la escala valorativa para consecuencias referidas al impacto en la seguridad y salud de los trabajadores.

Tabla 2.
Factores de Consecuencias Impacto Seguridad y Salud

Criterio	Valor
Evento catastrófico, pérdida de vidas humanas.	5
Evento que genera lesión incapacitante ó efectos a la salud de por vida.	4
Evento que genera lesión incapacitante ó efectos a la salud de forma temporal.	3
Evento que genera lesión ó efectos a la salud menores (no incapacita al trabajador).	2
No genera ningún impacto en la seguridad y salud.	1

Nota: Tomado de Parra (2020)

Análogamente se muestra la valoración para consecuencias ambientales en la tabla 3, y los efectos sobre los costos del mantenimiento en la tabla 4.

Tabla 3.
Factores de Consecuencias Impacto Medio Ambiente

Criterio	Valor
Afectación catastrófica al ambiente (cierre total de las operaciones)	5
Afectación sensible al ambiente (daños ambientales recuperables a largo plazo, multas, indemnizaciones y cierre temporal)	4
Afectación moderada al ambiente (daños ambientales recuperables en corto plazo, multas e indemnizaciones)	3
Incidente ambiental controlable (no genera daños ambientales, costos directos menores)	2
No genera ningún impacto ambiental	1

Nota: Tomado de Parra (2020)

Tabla 4.
Factores de Consecuencias Impacto en Producción y/o en los Costos del Mantenimiento

Criterio	Valor
Pérdidas de producción superiores al 75%, costos de reparación mayores a \$3000	5
Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%, costos de reparación entre \$2000 y \$2999	4
Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%, costos de reparación entre \$1000 y \$1999	3
Pérdidas de producción entre el 5% y el 24%, costos de reparación entre \$500 y \$999	2
Pérdidas de producción menor al 5%, costos de reposición menores a \$499	1

Nota: Tomado de Parra (2020)

Análisis de criticidad

Parra (2020), utilizando la norma SAE JA1012_201108, “A guide to the reliability-centered maintenance (RCM)” presenta un modelo de jerarquización basado en la evaluación semicuantitativa del Riesgo (se tomó como referencia la matriz de criticidad, diseñada para activos de la industria del petróleo). El modelo propuesto está basado en la estimación del factor de riesgo a través de la siguiente expresión:

$$Riesgo = Frecuencia de fallos \times Consecuencias \quad (6)$$

Donde:

$$Frecuencia de fallos = \text{Número de fallos por un tiempo determinado} \quad (7)$$

$$Consecuencias = (\text{Impacto Seguridad y Salud} \times 0.25) + (\text{Impacto medio ambiente} \times 0.25) + (\text{Impacto de producción o costos de mantenimiento} \times 0.5) \quad (8)$$

Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF)

Esta fase es la principal y más importante de la metodología del RCM, se identifica su función principal, su fallo funcional, los modos y efectos de fallos, es necesario conocer la probabilidad, frecuencia y criticidad de cada falla, de esta manera se puede determinar cuáles son las fallas más comunes y sus consecuencias en el funcionamiento de las maquinarias críticas basado en la bitácora de registro de fallos del periodo agosto 2021 – julio 2023.

Análisis y toma de decisiones

Un diagrama resume los criterios más importantes e integra todos los procesos de decisión en una estructura estratégica única, y se aplica a cada uno de los modos de falla listados en la hoja de información RCM. En la Figura 2 se muestra el diagrama de decisión RCM propuesto por Campos Avella (2016).

Figura 3.
Diagrama de decisión RCM

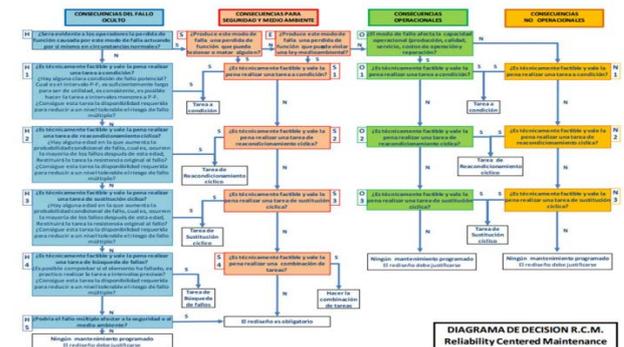


Figura 4. Diagrama de Decisión RCM Fuente: Campos Avella (2016)

Nota: Tomado de Campos Avella (2016)

Análisis Causa Raíz, por medio de la metodología Causa Efecto

Se realiza un Análisis por medio un diagrama Causa Efecto puesto que es una técnica bastante útil para realizar un análisis de causa raíz más compleja, profunda y detallada, Acosta (2017).

Este tipo de diagrama identifica todos los potenciales factores que contribuyen a la generación de un problema en el proceso, por tanto, se analizaran los factores enlistados a continuación:

- Mano de Obra
- Método
- Máquina
- Material

Análisis Causa Raíz, por medio de la metodología 5 ¿Por Qué?

Para Acosta (2017) la metodología de los 5 porqués es una excelente técnica para abordar

un simple análisis de causa raíz (ACR). Para esta metodología se realizará el proceso de preguntar 5 veces por qué el fallo ha ocurrido, a fin de obtener la causa o las causas raíz del problema.

Los resultados deben ser capturados en una hoja de trabajo expuesta en la figura 4 Diagrama del análisis Causa Raíz, por medio de la metodología 5 ¿Por Qué?

Figura 4
Hoja de trabajo para la metodología 5 ¿Por Qué?

Análisis de Causa Raíz (ACR)									
Análisis 5 Por Qué ?									
1. Comience preguntando ¿Por Qué? Responda Porque									
2. Escriba si la causa es confirmada con GEMDA									
3. Encierre en un círculo las Causas Raíces verificadas									
4. Marque cada causa raíz con 1, 2... Para vincular con las acciones que serán tomadas									
ANALIZAR	¿Por qué ?								
	Pregunta	¿Por qué ?							
Respuesta									

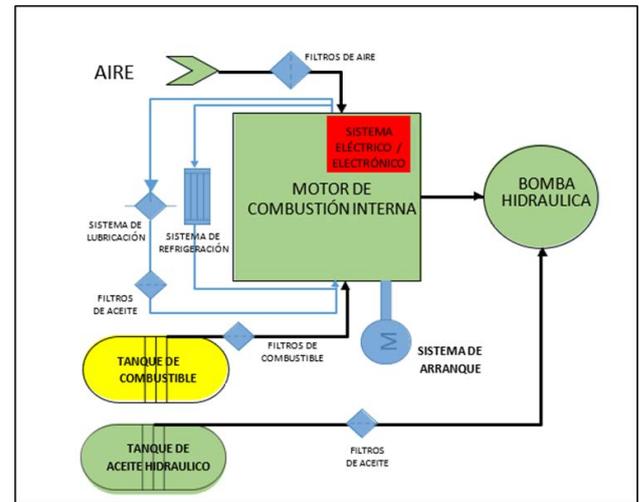
Nota: Tomado de Acosta (2017)

Resultados y Discusión

Descripción Operacional

El funcionamiento de la cosechadora de camarón es mecánico e hidráulico, con el objetivo de extraer y separar al camarón del agua del estanque a través de un sistema hidráulico que no daña el producto, cumpliendo con los requerimientos necesarios para la exportación del producto. En la Figura 5 se muestra el Diagrama funcional de máquina cosechadora de camarón,

Figura 5.
Diagrama funcional de maquina cosechadora de camarón



Clasificación de los activos

La empresa en estudio cuenta con 4 unidades, se tomó como objeto de este estudio la totalidad de sus equipos. A los equipos se les asignó un código para poder distinguirlos de manera más sencilla, aunque se debe tomar en cuenta que las unidades son idénticas ya que fueron adquiridas con el mismo propósito. En la tabla 5 se detalla el listado de equipos de estudio con sus los datos técnicos y características.

Tabla 5.
Listado de equipos en estudio

ACTIVO	PLACAS	TIPO DE ACTIVO	DESCRIPCION DE ACTIVO	MARCA	MOTOR	MODELO	SERIE
11243	CAMM/F1-12243	EQUIPOS AUXILIARES	COSECHADORA DE CAMARON#1	YANMAR	CHANG-CHAI	495BG	3TNV88-805A
13321	CAMM/F1-13321	EQUIPOS AUXILIARES	COSECHADORA DE CAMARON#2	ACUASPORT	REMNSTON	495G	8150911420
13394	CAMM/F1-13394	EQUIPOS AUXILIARES	COSECHADORA DE CAMARON#3	IOSA	ISLUZD	10G-5	280916-613099-70E
13992	CAMM/F1-13992	EQUIPOS AUXILIARES	COSECHADORA DE CAMARON#4	SEINMEX	JHON DEERE	DJ-4045-H-C	20210405-73

Se observó la generación de fallos en las máquinas cosechadoras de camarón, ocasionando que el camarón que se está cosechando se deteriore, dando como consecuencias pérdidas del producto, o que este no cumple con la calidad ni cantidad requeridas por sus clientes.

Adicionalmente se generaron costos por mantenimiento correctivo, por los cuales se procede a realizar cambios de piezas por lo tanto se incurre en aprovisionar materiales para la intervención; ocasionando una baja

disponibilidad de estas en el periodo de funcionamiento. Todo ello ocurre por la falta de una gestión de mantenimiento preventivo.

Cálculo de Indicadores

Disponibilidad

Se procedió a calcular el MTTR y el MTBF en base a la información obtenida de las órdenes de trabajo correctivas que se han realizado sobre las unidades en el periodo agosto 2021 – julio 2023., para posteriormente calcular la disponibilidad, En la tabla 6 se detallan las actividades de mantenimiento que se realizaron en la cosechadora #1, así como la frecuencia con la que fueron realizadas, además de agregar el costo que tuvieron las mismas y cuanto fue el tiempo de funcionamiento previo a los daños.

Tabla 6.
Cálculos de MTBF Y MTTR de Cosechadora #1

UNIDAD	FALLA	TIEMPO (H)	COSTO (\$)	# de veces	COSTO POR MANTENIMIENTO	TIEMPO TOTAL POR ACTIVIDADES	COSTO TOTAL POR ACTIVIDADES	MTBF	MTTR	DISP
COSECHADORA #1	Fuga de bomba hidráulica partida	54	380	2	410	108	\$ 820,00	169,50	64,31	72,50%
	Empaques bomba hidráulica rotados	177,5	2500	1	2530	177,5	\$ 2.530,00			
	Filtración de refrigerante en radiador	14,2	200	1	230	14,2	\$ 230,00			
	Estructura con corrosión	142	3200	1	3650	142	\$ 3.650,00			
	Filtración en tanque de aceite hidráulico	5	320	1	410	5	\$ 410,00			
	Bomba hidráulica tomada	53,25	250	1	280	53,25	\$ 280,00			
	Módulo hincado, daño en empaques tapa válvulas del motor	14,5	50	1	80	14,5	\$ 80,00			

Mantenibilidad y confiabilidad

Una vez determinado el MTBF y MTTR se dispone de la ecuación antes dada de disponibilidad además de ocupar otros indicadores que se deben tener en cuenta para conocer la criticidad de las máquinas, como mantenibilidad y confiabilidad.

Para calcular estos indicadores previamente mencionados, se tomará en cuenta que las máquinas pasan por un proceso de mantenimiento cada 150 horas de trabajo, por lo cual el tiempo utilizado en las fórmulas será de un tiempo medio de 100 horas. El resultado se puede observar en la Tabla 7.

Tabla 7.
Cuadro de criticidad de las unidades

UNIDAD	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD	λ	μ	R(100h)	M(100h)	COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO
COSECHADORA #1	169,50	64,31	72,50%	0,006	0,016	55,43%	78,88%	\$ 8.680,00
COSECHADORA #2	266,78	34,02	88,69%	0,004	0,029	68,74%	94,71%	\$ 7.910,00
COSECHADORA #3	247,43	40,30	85,99%	0,004	0,025	66,75%	91,64%	\$ 8.020,00
COSECHADORA #4	696,74	22,20	96,91%	0,001	0,045	86,63%	98,89%	\$ 4.740,00

Identificación de tareas críticas y análisis de criticidad.

Identificadas las unidades más problemáticas, se analizaron sus tareas críticas por medio del uso de la técnica de matriz de criticidad total por riesgo. La tabla 8 muestra un fragmento del análisis realizado, estableciendo las valoraciones y total para cada sistema.

Tabla 8.
Matriz de criticidad

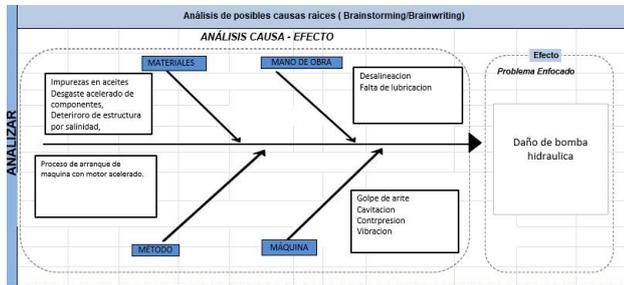
UNIDAD	SISTEMA	FALLA	FRECUENCIA FALLAS	COSTOS DE MANT. Y PROFIL.	SHA	CA	CONSECUENCIAS	TOTAL	GERARQUIZACIÓN
COSECHADORA #1	BOMBA HIDRÁULICA	Falla bomba hidráulica	4	4	3	3	4	16	Alta Criticidad
		Daño de radiador	1	2	2	2	2	2	Baja Criticidad
	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	Corrosión de estructura	1	5	4	3	5	5	Alta Criticidad
		Filtración en tanque de aceite hidráulico	1	4	3	2	4	4	Medio Criticidad
MOTOR	Cambio de empaques tapa válvulas del motor	1	2	2	3	3	3	Baja Criticidad	

Al realizar la matriz de Criticidad de la Cosechadora #1 se determinó que las bombas hidráulicas tienen criticidad alta debido a su alta frecuencia de fallas, por esta razón las actividades o tareas de mantenimiento a realizar, deben estar enfocadas en reducir los modos de fallas asociados, ya que estos tienen gran incidencia durante su funcionamiento.

Análisis Causa Raíz, por medio de la metodología Causa Efecto

En la figura 6 se muestra las posibles causas que pueden generar el efecto de un daño en la bomba hidráulica, donde se analizarán los factores como mano de obra, método, máquina y material.

Figura 6.
Diagrama del análisis Causa Raíz por medio de la metodología Causa Efecto de daño a bomba hidráulica



Análisis Causa Raíz, por medio de la metodología 5 ¿Por Qué?

En la tabla 9 se presenta la Hoja de trabajo de metodología 5 ¿Por qué?, el análisis efectuado por la baja confiabilidad de la cosechadora #1 generado por los daños repetitivos de la bomba hidráulica generados por error humano.

Tabla 9.
Hoja de trabajo del análisis Causa Raíz

Análisis 5 Por Qué ?										
1. Comience preguntando ¿Por Qué? Responda Porque										
2. Escriba SI la causa es confirmada con GEMBA No caso No es confirmada										
3. Encierre en un círculo las Causas Raíces verificadas										
4. Marque causa raíz con 1, 2, ... Para vincular con los archivos que serán tomados										
ANALIZAR	Problema/ causa raíz	¿Por Qué?	SI	NO	¿Por Qué?	SI	NO	¿Por Qué?	SI	NO
	Pregunta	¿Por que se generan fallos en la bomba hidráulica?			¿Por que se desalinean el matrimonio?			¿Por que se rompen las estructuras de fijación del matrimonio?		
	Respuesta	Desalineación del matrimonio	SI	NO	Falta de lubricación y mantenimiento	NO	NO	Contrapresiones del motor o de bomba hidráulica	SI	NO
		Golpe de ariete	NO	NO	Ruptura de estructura de fijación de matrimonio	SI	NO	Deterioro prematuro de elementos por baja calidad	NO	NO
		cavitación	NO	NO	Mala instalación	NO	NO	Corrosión por salinidad del ambiente	NO	NO
		Impurezas del aceite hidráulico	NO	NO			NO	Baja calidad de trabajo de terceros	NO	NO

Al tener un mal proceso para el arranque, los equipos son encendidos de forma exabrupto provocando contrapresiones ya sea del motor de combustión interna o de la bomba hidráulica. Estas contrapresiones afectan a los elementos de fijación de los equipos generando rupturas en la estructura y desalineación del matrimonio. Los anteriores análisis muestran que las causales esenciales se asocian a malas prácticas humanas, por la no tenencia y aplicación de protocolo de encendido de las máquinas cosechadoras.

De acuerdo al consenso del grupo de trabajo se establecieron algunos aspectos que caracterizan la deficiente capacitación del talento humano, la alta fluctuación laboral, y

las dificultades para entrenar al personal que se integra a la actividad.

En consecuencia, se deben desarrollar capacitaciones y entrenamientos para influenciar la reducción de los errores humanos, unido a la elaboración de manuales claros como el protocolo de encendido, aspecto que el estudio de causa raíz identificó como crucial en la ocurrencia de fallos.

No se hallaron estudios específicos precedentes en la literatura especializada sobre máquinas cosechadoras de camarón, lo que establece la novedad de esta investigación desde el tipo de maquinaria estudiada, en materia de mantenimiento operacional.

Las investigaciones halladas corresponden a máquinas cosechadoras terrestres, en las que se hallaron tendencias de fallos asociados a condiciones climáticas y del suelo. De acuerdo a Quiceno Ruiz, L.Y. (2013), se identificaron las condiciones climáticas como la temperatura como esencial origen de la ocurrencia de fallos en máquinas cosechadoras de bayas en climas cálidos.

De igual manera, Miranda Caballero I A, Valdés Álvarez G., Iglesias Coronel C.E., Lara Hernández Y. (2015), también identifican causas climáticas en la baja productividad en las condiciones del suelo, notando los fallos mayoritarios en piezas como: rodamientos, excéntricas y otros elementos para las esteras transportadoras que no se encontraban en la unidad productiva.

Por otro lado, Grigioni M., Doná F. y Bonino M. (2019) hallaron los factores humanos como causales esenciales de fallos en máquinas cosechadoras, devenidos en accidentes laborales, por lo que plantean “se deben articular capacitaciones y medidas tendientes para que reconozcan amplia y fácilmente las condiciones operacionales”, planteamiento con el que se coincide desde los resultados de la actual investigación, en la necesidad de fortalecimiento del capital humano.

Conclusiones

Se determinaron los indicadores de confiabilidad y mantenibilidad de las máquinas cosechadoras de camarón, obteniendo en promedio una confiabilidad del 69.39%, con una mantenibilidad del 91.03%. El indicador de confiabilidad se ve afectado principalmente por los tiempos de reparación de los elementos de alta criticidad. las tareas o actividades de mantenimiento ejecutadas van enfocadas en su mayoría a un mantenimiento correctivo. Dicho resultado se establece como pionero en el tipo de maquinaria estudiada.

Se determinó que las bombas hidráulicas en la operación objeto de estudio, tienen criticidad alta, por esta razón las actividades o tareas de mantenimiento a realizar deben estar enfocadas en reducir los modos de fallas asociados a los mismos, ya que estos tienen gran incidencia durante su funcionamiento.

Al analizar el elemento de mayor criticidad se pudo determinar que el factor humano mediante la falta de procesos establecidos y el entrenamiento adecuado, son los factores que más inciden en la confiabilidad operacional de las cosechadoras de camarón. Futuras investigaciones deben profundizar en las acciones de mantenimiento más adecuadas para la optimización de la confiabilidad operacional de las máquinas cosechadoras de camarón.

Referencia bibliográficas

- Acosta, J. D. C. O., Soler, V. G., & Molina, A. I. P. (2017). Herramientas para el análisis de causa raíz (ACR). *3c Empresa: investigación y pensamiento crítico*, (1), 1-9.
- Acuña, J. A. (2003). *Ingeniería de confiabilidad*. Editorial Tecnológica de CR.
- Díaz Concepción, A., del Castillo Serpa, A., Cabrera Gómez, J., Benítez Montalvo, R., Villar Ledo, L., Rodríguez Piñeiro A.J. Recibido 14 de marzo de 2019, aceptado 12 de enero de 2020 Recibido: Marzo 14, 2019 Aceptado: Enero 12, 2020
- Armijos-Suárez, M., Macuy-Calle, J., Mayorga-Quinteros, E., Rodríguez-Valencia, L., & Clavijo-Basantes, M. (2015). Análisis del impacto económico de la aplicación del Decreto N° 1391 en la regularización de la Industria Acuícola Camaronera del Ecuador.
- Bedón Lema, José Fernando. (2017). Análisis y propuesta de mejora de la confiabilidad humana en la operación de los grupos electrógenos Wartsila 16V32LNGD ubicados en La Central de Generación Secoya. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.
- Bucay Valdiviezo, Juan Carlos; Carrillo Albán, Marjorie Elizabeth. (2018). Optimización de la gestión de mantenimiento basado en la disponibilidad operacional de equipos en la planta de pintura de la empresa Ciauto Ambato-Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.
- Miranda Caballero, A., Valdés Álvarez, G., Iglesias Coronel, C.E., Lara Hernández, Y. (2015). Evaluación de la cosechadora de papas Ariguanabo-70 en las condiciones de la Empresa Cubaquivir. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN -1010-2760, RNPS-0111, Vol. 24, No. 4 (octubre-noviembre-diciembre, pp. 41-44), 2015
- Campos Avella, Ph.D. Juan Carlos. *Energía Eficiente*. 2016. <http://www.e2energiaeficiente.com/mantenimiento-centrado-en-la-eficiencia-energetica-nueva-gestion-organizacional-para-reducir-costos-de-mantenimiento-y-de-energia/> (último acceso: 6 de Octubre de 2016).
- Cárcel Carrasco, F.J. (2016). Características de los sistemas TPM y RCM en la ingeniería del mantenimiento. *3C Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 5(3), 68-75. DOI: 10.15445/3c.2016.03.005
- Carreño-Godoy, M. J., Erazo-Álvarez, J. C., Narváez-Zurita, C. I., & Moreno, V. P.

- (2020). La responsabilidad social en las empresas camaroneras.
- Concepción, A. D., del Castillo, A., Gómez, J. C., Ledo, L. V., Piñeiro, A., Montalvo, R., Bayo, A. C., Ariet, N. V., & Díaz, F. C. (2020). Estudio teórico para el análisis de la confiabilidad operacional. Monografía, La Habana, Cuba, Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento, CEIM, 11-12
- Grajales, D. H. M., Candelario, M. P., & Sánchez, Y. O. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et technica*, 1(30), 155-160.
- GRIGIONI M., DONÁ F. y BONINO M. (2019). Seguridad en el uso de maquinaria agropecuaria: conductas y prácticas de los productores rurales de las provincias argentinas de Santa Fe y Córdoba. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 45 (3): 454-463.
- Hung, A. J. (2009). Mantenimiento centrado centrado en confiabilidad confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta
- Mesa Grajales, D. H., Ortiz Sánchez, Y., & Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento
- Moubray, J. (2004). Mantenimiento centrado en la confiabilidad (2a ed.). España: Aladon Ltd.
- Murguía, R. Á. P., del Pino, E. M. V. G., & Villa, Y. B. (2013). El análisis de fiabilidad humana en la mejora de procesos. *Prospectiva*, 11(2), 61-67
- Parra, C., & Crespo, A. (2012). Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos. INGECON.
- Parra, C., & Crespo, A. (2020). Optimización de planes de Mantenimiento: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF). INGECON
- Quiceno Ruiz, L. Y. (2013). Las máquinas cosechadoras de bayas en climas cálidos del departamento de Cundinamarca: bases de un análisis para su viabilidad comercial en mercados especializados. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/contaduria_publica/775
- SAE JA1012_201108, A guide to the reliability-centered maintenance (RCM) standard, 1-57, Washington, U.S.A. (2002)
- Saetta, S. y Caldarelli, V. (2018). The machinery performance analysis with smart technologies: a case in the food industry. *IFAC-Papers on line*, 51(11), 441-446. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.341> [Links]
- Sebastián Cárdenas, M.L. (2009). Fallo humano: la quiebra de un paradigma. *Apuntes de Psicología*, 27 (1), 21-51.