

## **Metodología para medir la confiabilidad en líneas de ensamble**

***Methodology to Measure Reliability in Assembly Lines***

***Metodologia para medir a confiabilidade em linhas de montagem***

**Gilberto Orrantia Daniel**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Hermosillo, México

[gilberto.orrantiad@hermosillo.tecnm.mx](mailto:gilberto.orrantiad@hermosillo.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-7191-0656>

**Jaime Sánchez Leal**

The University of Texas at El Paso, Estados Unidos

[j Sanchez21@utep.edu](mailto:j Sanchez21@utep.edu)

<https://orcid.org/0000-0002-6324-2379>

**Jorge de la Riva Rodríguez**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, México

[jorge.dr@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:jorge.dr@cdjuarez.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0001-8402-0065>

**Rosa María Reyes Martínez**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, México

[rosyreyes2001@yahoo.com](mailto:rosyreyes2001@yahoo.com)

<https://orcid.org/0000-0003-4950-5045>

**Ericka Berenice Herrera Ríos**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, México

[ericka.hr@itcj.edu.mx](mailto:ericka.hr@itcj.edu.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-6964-5830>



## Resumen

La medición es un aspecto clave para evaluar el resultado de cualquier proceso. Las líneas de ensamble deben medirse considerando la confiabilidad tanto del producto como del proceso de producción. El propósito de este estudio fue desarrollar una metodología que permitiera conocer el estado de una línea de ensamble y que integrara un modelo de medición para obtener un índice de confiabilidad para una línea de este tipo de la industria automotriz. Los dos productos resultantes de este estudio fueron la metodología con su estructura en etapas y el modelo matemático. La metodología está compuesta de cinco etapas y el modelo de cuatro elementos. La confiabilidad pudo ser calculada para una línea de ensamble de la industria automotriz haciendo uso de la media de la distribución de mejor ajuste. Lo anterior permitió detectar el índice que más afectó a la confiabilidad general. El índice que más afectó al valor de confiabilidad general fue el de disponibilidad con 75.55 %, seguido del índice de eficiencia con 87.25 %, continuando con el índice de calidad con 90.15 % y, por último, con el menor efecto, está el índice de capacidad de entrega con 97.75 %.

**Palabras clave:** calidad, capacidad de entrega, confiabilidad, disponibilidad, eficiencia.

## Abstract

Measurement is a key aspect to evaluate the result of any process. Assembly lines should be measured considering the reliability of both the product and the production process. The purpose of this study was to develop a methodology that would allow knowing the status of an assembly line and that would integrate a measurement model to obtain a reliability index for a line of this type in the automotive industry. The two products resulting from this study were the methodology with its structure in stages and the mathematical model. The methodology is composed of five stages and the model of four elements. Reliability could be calculated for an automotive assembly line using the mean of the best fit distribution. This made it possible to detect the index that most affected general reliability. The index that most affected the general reliability value was availability with 75.55 %, followed by the efficiency index with 87.25 %, continuing with the quality index with 90.15 % and, finally, with the least effect, is the index of delivery capacity with 97.75 %.

**Keywords:** quality, deliverability, reliability, availability, efficiency.



## Resumo

A medição é um aspecto fundamental para avaliar o resultado de qualquer processo. As linhas de montagem devem ser medidas considerando a confiabilidade do produto e do processo de produção. O objetivo deste estudo foi desenvolver uma metodologia que permitisse conhecer o estado de uma linha de montagem e que integrasse um modelo de medição para obter um índice de confiabilidade para uma linha deste tipo na indústria automotiva. Os dois produtos resultantes deste estudo foram a metodologia com sua estrutura em etapas e o modelo matemático. A metodologia é composta por cinco etapas e o modelo por quatro elementos. A confiabilidade pode ser calculada para uma linha de montagem automotiva usando a média da distribuição de melhor ajuste. Isso possibilitou detectar o índice que mais afetou a confiabilidade geral. O índice que mais afetou o valor de confiabilidade geral foi a disponibilidade com 75,55%, seguido do índice de eficiência com 87,25%, continuando com o índice de qualidade com 90,15% e, por fim, com o menor efeito, é o índice de capacidade de entrega com 97,75% .

**Palavras-chave:** qualidade, capacidade de entrega, confiabilidade, disponibilidade, eficiência.

**Fecha Recepción:** Noviembre 2021

**Fecha Aceptación:** Junio 2022

## Introducción

En la actualidad, las empresas manufactureras buscan mejorar la confiabilidad de sus líneas de ensamble (Golmohammadi, Tajbakhsh, Dia y Takouda, 2019; Ping-Chen, Yi-Kuei y Yu-Min, 2019). Esto con el fin de ser competitivas con respecto al tiempo de entrega, tasas de producción y estándares de calidad que los clientes exigen (Choomlucksana, Ongsaranakorn y Suksabai, 2015; Rodríguez, Sánchez, Martínez y Arvizu, 2015). Para cumplir con estos requisitos, las empresas suelen recurrir a varios métodos, entre los cuales uno de los más populares es el de clase mundial, el cual está asociado a prácticas de producción basadas en la flexibilidad, el mejoramiento continuo y la confiabilidad, entre muchas otras (Petrillo, De Felice y Zomparelli, 2019).

Para conocer el desempeño de la filosofía de clase mundial, la medición es importante. Aún más, es uno de los aspectos clave que inciden en el crecimiento y mejora de las empresas. Si las empresas quieren avanzar y ser competitivas a largo plazo, necesitan implementar un sistema de medición del desempeño adecuado para poder medir y evaluar



cada área de sus actividades comerciales de manera sistemática y continua (Papulová, Gažová, Šlenker y Papula, 2021).

Una forma de medir el desempeño es a través de la confiabilidad. Según Ebeling (2019), la confiabilidad es la probabilidad de que un componente o sistema realice una función requerida durante un periodo de tiempo dado cuando se usa en las condiciones de operación establecidas, es decir, es la probabilidad de que no se produzca una falla a lo largo del tiempo.

Uno de los métodos que ha utilizado la industria automotriz para evaluar la eficiencia de sus procesos de producción es la efectividad total del equipo (OEE, por sus siglas en inglés). Okpala y Anozie (2018) comentan que la OEE es una técnica aplicada para la medición de las principales características de producción, incluyendo la eficiencia del rendimiento, la tasa de calidad y la disponibilidad. Tiene como objetivo el aumento de la velocidad y la reducción de productos defectuosos, paradas de máquinas (tiempo muerto) y productos de mala calidad por máquinas, así como máquinas y equipos que trabajan por debajo de su capacidad de producción.

En las líneas de ensamble a ritmo, todas las estaciones pueden comenzar con sus operaciones en el mismo momento y también pasar piezas de trabajo con la misma frecuencia. En este tipo de líneas, un valor de tiempo fijo (tiempo de ciclo) restringe el contenido de trabajo de las estaciones (Adeppa, 2015).

En las líneas de ensamble a ritmo con dispositivo transportador, ya sea banda o riel, el producto se mueve a través de un número de estaciones de trabajo dispuestas en la secuencia requerida. Cada estación o zona de trabajo está asignada a un cierto número de operaciones de ensamble. En cada área, uno o más operadores pueden trabajar simultáneamente, y la carga de producción promedio de cada uno de los operadores en todas las áreas debe ser la misma. La igualdad de carga de trabajo en los operadores es lo que proporciona un ritmo constante de salida del producto (Mauergauz, 2016).

Las líneas de ensamble de la industria automotriz pueden estar influenciadas por factores que afectan el actuar de los seres humanos, como lo son el medio ambiente y los métodos utilizados en el desarrollo del propio trabajo. También hay que considerar que pueden tener variación debido a las materias primas, maquinaria y otros factores. Esta variación puede influir en la confiabilidad de la línea de ensamble de la industria automotriz. Un sistema no confiable puede causar muchas pérdidas inesperadas tanto directas como indirectas, por ejemplo: accidentes, sanciones por no cumplir con las fechas de entrega



estipuladas, productos defectuosos, tiempo de paro, averías de las máquinas, entre otras (El-Lawendy, 2013).

Por supuesto, existen algunas metodologías para medir la confiabilidad, como las realizadas por El-Lawendy (2013) y Kostina, Karaulova, Sahno y Maleki (2012), entre otras. Respecto al trabajo de El-Lawendy (2013), se trata de un modelo que propone calcular la confiabilidad de un sistema de manufactura integrado por personas y máquinas. Este modelo está fundamentado en tres aspectos principales que provienen de la definición de confiabilidad: la función, el tiempo y las condiciones operacionales y medioambientales. Estos tres factores fueron reunidos en un indicador clave de desempeño para la máquina y para la persona con el fin de utilizarlo para calificar el rendimiento. La confiabilidad de las personas fue medida con el trabajo realizado, la tasa de trabajo exitoso a través del método HEART y el tiempo ocioso; la confiabilidad de la máquina fue medida utilizando la tasa de producción, el tiempo medio entre fallas, el tiempo medio de reparación y el número de unidades defectuosas. La integración de las confiabilidades de las personas y de las máquinas fue realizada con el diagrama de bloques de confiabilidad, ya sea en serie o en paralelo.

También, El-Lawendy (2013) planteó una serie de pasos para evaluar la confiabilidad de un sistema de producción integrado por personas y máquinas. Dicha serie inicia con definir los componentes del sistema, luego definir las condiciones de diseño y los objetivos del sistema, recopilar los datos, calcular la confiabilidad de los componentes, integrar la confiabilidad de las personas y la confiabilidad de la máquina para evaluar la confiabilidad del sistema de producción y por último obtener la confiabilidad del sistema.

El modelo de confiabilidad presentado por El-Lawendy (2013) fue diseñado para ser desarrollado en organizaciones donde las máquinas funcionan con la supervisión del personal, quien realiza pequeños trabajos como alimentar a la máquina con el material y operar sin influir en gran medida en la fabricación, ensamble y manipulación de los productos.

Tsarouhas y Arvanitoyannis (2014), por su parte, realizaron un estudio donde fue analizada la confiabilidad de una línea automatizada de producción de yogur. Las pruebas de correlación en serie y de tendencia validaron el supuesto de independencia y fue aplicada la distribución equivalente a los datos de falla. Y según los propios datos de falla, fueron determinados los parámetros de la distribución teórica de mejor ajuste. Además, desarrollaron los modelos de confiabilidad y tasa de falla para toda la línea de producción. Los modelos resultaron en una herramienta útil tanto para evaluar las condiciones actuales



como para predecir la confiabilidad y así actualizar las políticas de administración de operaciones de la línea de yogur.

En el estudio en cuestión de Tsarouhas y Arvanitoyannis (2014) fue determinado que la distribución Weibull proporcionó el mejor ajuste para la línea de producción de yogur para describir el tiempo entre fallas; la tasa de fallas de la línea de producción aumentó, lo que implicó que la estrategia de mantenimiento aplicada actualmente no es adecuada y debe actualizarse en un futuro próximo; y para evitar pérdidas relacionadas con la calidad y la productividad, la confiabilidad debe mejorarse inicialmente en la caldera de pasteurización y, en segundo lugar, en la máquina de llenado.

Si bien ya se cuenta con estos antecedentes, continúa vigente la necesidad de aplicar estudios para medir y analizar la confiabilidad, específicamente para generar una metodología para medir la confiabilidad de las líneas de ensamble de la industria automotriz, tomando en consideración a las máquinas, herramientas, sus operarios y otros componentes, asumiendo que los métodos son parte de los operarios de producción y que se cuenta con un medio ambiente controlado.

El objetivo de esta investigación consistió en desarrollar una metodología que permitiera conocer el estado del sistema de una línea de ensamble de la industria automotriz y que integrara un modelo de medición que resulte en un índice de confiabilidad. Además, incluir al modelo de medición de la confiabilidad las necesidades de los clientes, referidas a través del cumplimiento de las entregas en tiempo, estándares de producción, calidad y disponibilidad. Como objetivo complementario, se seleccionó la distribución de mejor ajuste para los datos de capacidad de entrega, de eficiencia, de calidad y de disponibilidad (tiempo de paro y tiempo entre paro) para determinar el parámetro de la media de dicha distribución y calcular el índice de confiabilidad total de una línea de ensamble de la industria automotriz, además de calcular el porcentaje de error relativo que es evitado si en lugar de seleccionar una distribución teórica asumida sin comprobación es seleccionada la distribución de mejor ajuste.

## Marco teórico

### Función de distribución de probabilidad

Una distribución de probabilidad es una caracterización de los posibles valores que una variable aleatoria puede asumir junto con la probabilidad de asumirlos. Una distribución de probabilidad puede ser discreta o continua, dependiendo de la naturaleza de la variable aleatoria que modela (Evans y Lindsay, 2015).

Para generar la distribución de probabilidad para una variable aleatoria continua supongamos que usted tiene un conjunto de mediciones en una variable aleatoria continua y que crea un histograma de frecuencia relativa para describir la distribución de estas; para un pequeño número de mediciones, se puede usar un pequeño número de clases; entonces, a medida que se recopilen más y más mediciones, se pueden usar más clases y reducir el ancho de clase. El perfil del histograma cambiará ligeramente, casi todo el tiempo haciéndose cada vez más irregular. Cuando el número de mediciones se hace muy grande y los anchos de clase se hacen muy angostos, el histograma de frecuencia relativa aparece cada vez más como una curva suave, esta curva suave describe la distribución de probabilidad de la variable aleatoria continua (Mendenhall, Beaver y Beaver, 2015).

Para evaluaciones de confiabilidad detalladas, es importante elegir una distribución de datos como base de estimación. Las distribuciones estadísticas mayormente utilizadas en confiabilidad son la Weibull y la exponencial (O'Connor y Kleyner, 2012). Además, otras distribuciones utilizadas en este estudio fueron la normal, lognormal, logística y loglogística.

### Estadístico Anderson-Darling

El estadístico Anderson-Darling mide qué tan bien siguen los datos una distribución específica, siendo que, para un conjunto de datos y distribución en particular, mientras mejor se ajuste la distribución a los datos, menor será este estadístico. También puede utilizar el estadístico de Anderson-Darling para comparar el ajuste de varias distribuciones con el fin de determinar cuál es la mejor. Sin embargo, para concluir que una distribución es la mejor, el estadístico de Anderson-Darling debe ser sustancialmente menor que los demás. Cuando los estadísticos están cercanos entre sí, se deben usar criterios adicionales, como las gráficas de probabilidad, para elegir entre ellos (Flores y Flores, 2021). La confiabilidad para la selección de los parámetros para el modelo matemático está en función del estadístico Anderson-Darling.



## Materiales y método

### Materiales

Los materiales necesarios para esta investigación fueron una computadora de escritorio, una computadora portátil, una memoria externa de almacenamiento de datos, un cronómetro digital, *software* procesador de palabras (Microsoft Word), *software* para conformar la base de datos (Microsoft Excel), software de estadística (Minitab), artículos de divulgación científica y tecnológica que traten del tema, hoja de recopilación de datos (ver anexo 1) y una línea de ensamble de la industria automotriz con sus operadores de producción, máquinas o herramientas.

### Método

El método aplicado en este estudio se determinó de acuerdo con lo que mencionan Hernández, Fernández y Baptista (2014). Se partió con un estudio exploratorio debido a que el tema en la industria automotriz ha sido poco estudiado. En este etapa se buscó generar una metodología que permitiera conocer el estado del sistema a evaluar y que integrara un modelo de medición de la confiabilidad para los sistemas de producción de ensamble a partir de la metodología y del modelo presentados por El-Lawendy (2013) y de la integración del concepto de *OEE*.

Posteriormente, se trabajó con la investigación descriptiva, esto se relaciona con el estudio de campo donde se probó la metodología junto con su modelo de medición para determinar la confiabilidad de un sistema de producción de ensamble. Finalmente, se realizó un estudio explicativo para indicar el comportamiento para encontrar las causas de la baja confiabilidad e indicar dónde y cómo deben realizarse mejoras al sistema.

### Estructura del modelo matemático

El modelo matemático desarrollado en este documento es una variante de lo propuesto por El-Lawendy (2013). Cabe señalar que dicho modelo también considera el concepto del *OEE* y las premisas del justo a tiempo con el objetivo de satisfacer la demanda de los clientes en tiempo, calidad y cantidad y al mismo tiempo generar un mínimo desperdicio de tiempo y recursos en la producción. En este contexto, la confiabilidad es lograda a través de la disponibilidad evitando paros de línea, con la capacidad de entrega a los clientes, con la eficiencia de la línea y con la calidad de los productos que son fabricados.



Por lo tanto, es estructurada una única ecuación general de confiabilidad que coincide con los indicadores clave de desempeño como lo son la eficiencia, el cumplimiento en cantidades a los clientes, la calidad y la disponibilidad. El modelo matemático para el cálculo de la confiabilidad de una línea de ensamble está en las ecuaciones 1 y 2.

Ecuación general de confiabilidad:

$$\begin{aligned}
 \text{Confiabilidad} = & \text{Índice de Capacidad de Entrega} \times \text{Índice de Eficiencia} \\
 & \times \text{Índice de la Calidad} \times \text{Índice de Disponibilidad}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Desglose de la ecuación general de confiabilidad:

$$\begin{aligned}
 \text{Confiabilidad} = & \left( \frac{\text{Piezas Entregadas}}{\text{Piezas Acordadas con los Clientes}} \right) \times \left( \frac{\text{Piezas Fabricadas} \times \text{Tiempo Estándar}}{\text{Tiempo de Fabricación}} \right) \times \left( \frac{\text{Piezas No Defectuosas}}{\text{Piezas Producidas}} \right) \\
 & \times \left( \frac{\text{TMEP}}{(\text{TMEP} + \text{TMDP})} \right)
 \end{aligned} \tag{2}$$

Con respecto a lo anterior, Freivalds y Niebel (2014) mencionan que el tiempo medio de paro (TMDP) es aquel que representa la interrupción de alguna operación debido a descomposturas de máquinas o herramientas, falta de material, etcétera. El concepto de *fallas* es expresado aquí como sinónimo del concepto de *paros de producción*. Además, se considera que el tiempo medio entre paros (TMEP) es el tiempo disponible.

En el mismo sentido, el objetivo del modelo matemático es encontrar un índice de desempeño de una línea de ensamble de la industria automotriz que también refleje el funcionamiento real y que a su vez facilite el cálculo de la probabilidad de que un sistema desempeñe su función prevista por un periodo específico de tiempo bajo un conjunto de condiciones determinadas.

## **Estructura de la metodología propuesta y su aplicación**

Aunado a la forma sobre cómo calcular la confiabilidad, es presentada una metodología de cinco etapas, estructurada como una extensión de la metodología presentada por El-Lawendy (2013), aunque con varios cambios. A continuación, está la metodología de cinco etapas:



### Etapa 1. Identificar el área de estudio

Esto consiste en seleccionar, conocer y definir los componentes de la línea de ensamble. La identificación del área de estudio es el inicio de casi cualquier proyecto. El estudio fue aplicado en una planta de ensamble automotriz ubicada en Hermosillo, Sonora, México, específicamente en el área de ensamble final, donde es ensamblado el tablero de instrumentos de los automóviles de una marca reconocida a nivel internacional. Esta es una línea automatizada que está compuesta de varias estaciones de trabajo en serie, aunque configurada como sistema único debido a que este tablero de instrumentos viaja de una estación a otra, sujeto a un dispositivo mecánico o riel transportador, del cual el tablero de instrumentos es desmontado hasta el final de la línea y cuyo funcionamiento es realizado por medio de un sistema de control común a ritmo constante para toda la línea.

La línea de ensamble está formada por 34 estaciones de trabajo; cada una de ellas puede generar un paro de producción. En cada estación, los operadores realizan operaciones manuales, ensamblando piezas al tablero y en algunos casos realizando trabajos diversos donde son utilizadas herramientas de mano como el taladro y lectores de códigos de barras. La línea de ensamble de tableros opera comúnmente en tres turnos de ocho horas de lunes a viernes y los días sábados con dos turnos de ocho horas.

### Etapa 2. Obtener información del área de estudio

Esta etapa consistió en establecer el plan de recopilación de datos. Los datos se recopilaron utilizando el formato del anexo 1 y estos se complementaron con los recopilados por las diferentes áreas involucradas, para que en la siguiente etapa fuera posible vaciar la información en la base de datos. Fueron recopilados datos de la línea de ensamble en 61 ocasiones y cada ocasión tuvo una duración de una hora. Así, se obtuvo una muestra de 1366 paros de producción, donde fueron manufacturados y luego revisados por el personal de calidad 3735 productos finales.

Para la capacidad de entrega se recopiló información de las piezas entregadas y de las piezas planeadas a entregar a los clientes. Para obtener el índice de eficiencia, se recopiló información de las piezas fabricadas, tiempo estándar por estación de trabajo y tiempo total de fabricación. Con respecto al índice de calidad, la información recopilada fueron tanto las piezas realizadas como de las piezas defectuosas. En relación con el índice de disponibilidad, fue recopilada información de los tiempos de paros causados por determinadas fallas y los



tiempos de funcionamiento. Esta información fue complementada con información obtenida del área de manufactura, del área de producción, del área de calidad y del área de mantenimiento. Otra información recopilada fueron las piezas entregadas por hora a los clientes, las piezas planeadas o acordadas a entregar por hora a los clientes, tiempo estándar por estación de trabajo y piezas defectuosas por hora.

El analista, antes de iniciar con la recopilación de datos, era ubicado a una distancia prudente y lo más cerca posible a la estación bajo análisis con el fin de no afectar o detener las actividades de la línea de ensamble.

### **Etapa 3. Aplicar el modelo matemático**

Aplicar el modelo matemático consiste principalmente en calcular la confiabilidad del sistema o proceso utilizando las ecuaciones 1 y 2. Una vez recopilados los datos, fueron transferidos a una base de datos de Excel para su manejo y análisis. Los datos en Excel fueron ordenados en diferentes hojas de trabajo según el número de estación para luego generar resúmenes de estos datos.

El índice de capacidad de entrega se obtuvo para 61 muestras utilizando la parte de la ecuación 1 y 2 que corresponde a este índice, a cuyos datos resultantes le fue encontrada la distribución de mejor ajuste y sus parámetros con el *software* Minitab. Luego, a partir de los 61 datos de capacidad de entrega de la línea de ensamble, fue determinada la distribución de mejor ajuste (ver tabla 1) y sus parámetros con el uso del *software* Minitab.

**Tabla 1.** Prueba de bondad de ajuste para el índice de capacidad de entrega, parámetros de distribución y porcentaje medio por distribución.

Distribución de los datos	Estadísticos de prueba y parámetros por distribución					
	AD (ajust.)	Valor-p	Ubicación	Forma	Escala	Media
Normal	9.922	< 0.005	0.96117	N/A	0.07511	0.961166
Lognormal	10.198	< 0.005	-0.04307	N/A	0.08703	0.961419
Exponencial	24.726	< 0.003	N/A	N/A	0.96117	0.961166
Weibull	10.631	< 0.010	N/A	25.41911	0.98717	0.966208
Logística	8.796	< 0.005	0.97747	N/A	0.03307	0.977473
Loglogística	8.872	< 0.005	-0.02417	N/A	0.03668	0.978288

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 1 se observa que ninguna distribución pasa la prueba con el valor-p, sin embargo, la distribución de mejor ajuste es aquella donde el valor del estadístico Anderson-Darling (AD ajustado) es más pequeño, siendo esta la distribución logística. A partir de los parámetros de la distribución logística (ver tabla 1), fue determinada la capacidad de entrega media, la cual representa el índice de capacidad de entrega para toda la línea de ensamble, que es de 0.977473, es decir, 97.75 %.

El índice de eficiencia para toda la línea de ensamble fue calculado por medio de la eficiencia encontrada para 61 muestras utilizando la parte de la ecuación 1 y 2 que corresponde a este índice, solo que en vez de utilizar el tiempo estándar fue utilizado el tiempo de la estación más tardada, ya que es esa estación la que marca el ritmo de toda la línea de ensamble, a cuyos datos resultantes le fue encontrada la distribución de mejor ajuste y sus parámetros con el *software* Minitab. De ésta forma fue determinado el índice de eficiencia para toda la línea de ensamble de acuerdo al parámetro de ubicación de la distribución de mejor ajuste resultante.

Luego, a partir de los 61 datos de eficiencia de la línea de ensamble, fue determinada la distribución de mejor ajuste (ver tabla 2) y sus parámetros. En la tabla 2 se observa que algunas distribuciones pasaron la prueba con el valor-p, sin embargo, la distribución de mejor ajuste es aquella donde el valor del estadístico Anderson-Darling (AD ajustado) es más pequeño, siendo esta la distribución Weibull.

**Tabla 2.** Prueba de bondad de ajuste para el índice de eficiencia, parámetros de distribución y porcentaje medio por distribución

Distribución de los datos	Estadísticos de prueba y parámetros por distribución					
	AD (ajust.)	Valor-p	Ubicación	Forma	Escala	Media
Normal	0.879	0.062	0.87192	N/A	0.06830	0.871921
Lognormal	1.097	0.016	-0.14021	N/A	0.08112	0.871989
Exponencial	23.692	< 0.003	N/A	N/A	0.87192	0.871921
Weibull	0.663	> 0.250	N/A	16.07147	0.90166	0.872545
Logística	0.728	0.063	0.87625	N/A	0.03861	0.876255
Loglogística	0.796	0.033	-0.13359	N/A	0.04491	0.877858

Fuente: Elaboración propia

A partir de los parámetros de la distribución Weibull (ver tabla 2) fue determinada la eficiencia media, la cual representa el índice de eficiencia para toda la línea de ensamble, que es de 0.872545, es decir, 87.25 %.

El índice de calidad fue determinado directamente utilizando la parte de la ecuación 1 y 2 que le corresponde a este índice (ver tabla 3).

**Tabla 3.** Índice de calidad para toda la línea de ensamble

	Piezas defectuosas durante el estudio	Piezas no defectuosas durante el estudio	Piezas realizadas durante el estudio	Índice de calidad por motivo de paro
Línea de ensamble	368	3367	3735	90.15 %

Fuente: Elaboración propia

El índice de disponibilidad fue obtenido por medio de los tiempos de paro y los tiempos entre paros, en ambos casos fue encontrada la distribución de mejor ajuste y sus parámetros con el *software* Minitab. Fue determinado el TMDP y el TMEP para así calcular la disponibilidad utilizando la parte de la ecuación 1 y 2 que corresponde a este índice.

Para calcular el índice de disponibilidad fue recopilada información de los tiempos de paro y tiempos entre paros (disponibilidad) en segundos. En el caso de la línea de



ensamble, fueron analizados 1366 tiempos de paro. Luego, a partir de los 1366 tiempos de paro de la línea de ensamble, fue determinada la distribución de mejor ajuste (ver tabla 4) y sus parámetros.

**Tabla 4.** Prueba de bondad de ajuste para los tiempos de paro de la línea de ensamble, parámetros de distribución y tiempo medio por distribución

Distribución de los datos	Estadísticos de prueba y parámetros por distribución					
	AD (ajust.)	Valor-p	Ubicación	Forma	Escala	Media
Normal	161.169	< 0.005	25.37701	N/A	33.92373	25.3770
Lognormal	3.831	< 0.005	2.80268	N/A	0.89130	24.5227
Exponencial	37.514	< 0.003	N/A	N/A	25.37701	25.3770
Weibull	34.527	< 0.010	N/A	1.04516	25.93300	25.4790
Logística	73.114	< 0.005	19.61378	N/A	11.91564	19.6138
Loglogística	1.521	< 0.005	2.78672	N/A	0.49222	25.1012

Fuente: Elaboración propia

Como ya anteriormente fue comentado, la distribución de mejor ajuste es aquella donde el valor del estadístico Anderson-Darling (AD ajustado) es más pequeño y en este caso es la distribución loglogística, sin embargo, en el análisis realizado con el *software* Minitab resultó que existe otra distribución con un mejor ajuste, a saber, la distribución loglogística de tres parámetros con el estadístico Anderson-Darling (AD ajustado) = 1.289, parámetro de ubicación = 2.75735, escala = 0.5098, valor umbral = 0.40174 y con un tiempo medio = 25.6516.

Ahora, en el mismo sentido, para calcular la disponibilidad de toda la línea de ensamble también fueron analizados 1347 tiempos entre paros (disponibilidad) en segundos. Luego, a partir de los 1347 tiempos entre paro de la línea de ensamble, fue determinada la distribución de mejor ajuste (ver tabla 5) y sus parámetros.

**Tabla 5.** Prueba de bondad de ajuste para los tiempos entre paro de la línea de ensamble, parámetros de distribución y tiempo medio por distribución

Distribución de los datos	Estadísticos de prueba y parámetros por distribución					
	AD (ajust.)	Valor-p	Ubicación	Forma	Escala	Media
Normal	204.862	< 0.005	94.02376	N/A	135.92492	94.0238
Lognormal	68.883	< 0.005	4.13216	N/A	0.78257	84.6174
Exponencial	102.276	< 0.003	N/A	N/A	94.02376	94.0238
Weibull	101.813	< 0.010	N/A	1.03293	95.64631	94.3968
Logística	133.751	< 0.005	69.14656	N/A	45.64676	69.1466
Loglogística	60.641	< 0.005	4.02370	N/A	0.42423	76.6734

Fuente: Elaboración propia

De nuevo se comenta que la distribución de mejor ajuste es aquella donde el valor del estadístico Anderson-Darling (AD ajustado) es más pequeño y en este caso es la distribución loglogística, sin embargo, en el análisis realizado con el *software* Minitab resultó que existe otra distribución con un mejor ajuste, la distribución loglogística de tres parámetros con el estadístico Anderson-Darling (AD ajustado) = 53.915, parámetro de ubicación = 3.87275, escala = 0.47816, valor umbral = 6.87773 y con un tiempo medio = 79.2648.

Para calcular el índice de disponibilidad de toda la línea de ensamble fue utilizada la parte de la ecuación 1 y 2 que corresponde a este índice, donde el TMDP = 25.6516 y el TMEP = 79.2648. Por lo tanto, el índice de disponibilidad para toda la línea de ensamble es de 0.7555 y en porcentaje es de 75.55 %.

Una vez calculados todos los índices de la ecuación general de confiabilidad (ver ecuación 1 y 2), fue posible calcular el índice de confiabilidad de toda la línea de ensamble. La tabla 6 es un resumen donde está el valor del índice de confiabilidad de la línea de ensamble considerando las distribuciones de mejor ajuste por cada índice y el valor por índice que compone la confiabilidad general.



**Tabla 6.** Índice de confiabilidad de toda la línea de ensamble y distribución de mejor ajuste por componente de la confiabilidad.

	Índice de capacidad de entrega	Índice de eficiencia	Índice de calidad	Índice de disponibilidad	Índice de confiabilidad	Confiabilidad (%)
Índices con distribuciones de mejor ajuste	0.9775	0.8725	0.9015	0.7555	0.5809	58.09 %
Distribución de mejor ajuste	Logística	Weibull	N/A	TMDP = 25.6516 con loglogística 3p TMEP = 79.2648 con loglogística 3p		

Fuente: Elaboración propia

#### **Etapa 4. Realizar el análisis de resultados**

En la tabla 7 está la cantidad de paros y el tiempo de paro por estación generadora del paro. En esta tabla es observado que la estación que genera la mayor cantidad de paros es la estación 10 con 197 paros acumulados durante el estudio, mientras que las estaciones que no generan paros son las estaciones 1, 27, 28, 30 y 32, lo que da como resultado para todas las estaciones de la línea un total de 1366 paros acumulados durante el estudio.

En la misma tabla 7 también está el tiempo de paro en segundos por estación generadora del paro. Al respecto, se observa que la estación que genera el mayor tiempo de paro es la 10 con 5081 segundos perdidos acumulados durante el estudio, mientras que las estaciones que no generan tiempo de paro son las estaciones 1, 27, 28, 30 y 32, lo que da por resultado un total de 34 665 segundos perdidos, lo que equivale a 9.629 horas en paro acumuladas durante el estudio.



**Tabla 7.** Cantidad de paros y tiempo de paro en segundos por estación generadora del paro.

Cantidad de paros y tiempo de paro en segundos por estación generadora del paro									
Estación	Frecuencia de paros	Tiempo de paro en segundos	Estación	Frecuencia de paros	Tiempo de paro en segundos	Estación	Frecuencia de paros	Tiempo de paro en segundos	
1	0	0	13	48	826	25	18	395	
2	64	3465	14	86	1352	26	12	297	
3	27	544	15	30	845	27	0	0	
4	30	685	16	31	705	28	0	0	
5	117	3005	17	88	1917	29	1	7	
6	31	809	18	33	848	30	0	0	
7	57	1268	19	1	269	31	2	26	
8	30	885	20	43	1115	32	0	0	
9	22	774	21	42	1315	33	39	588	
10	197	5081	22	36	1027	34	56	1321	
11	69	1404	23	80	1775	Total	1366	34665	
12	38	844	24	38	1273				

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al índice de capacidad de entrega para toda la línea de ensamble, presenta una tendencia al valor objetivo que toda organización persigue, es decir, a 1 o 100 % y sigue una distribución logística con una media de 0.977473. Con respecto al índice de eficiencia, fue determinado que, con base a la muestra de datos, este índice sigue una distribución Weibull con una media de 0.872545. El índice de calidad para toda la línea de ensamble fue de 90.15 %, sin considerar una distribución de mejor ajuste debido a que fue un único número el obtenido (ver tabla 3).

Con respecto al índice de disponibilidad para la línea de ensamble, al tratar los datos en segundos del tiempo de paro, se encontró que siguen una distribución loglogística de tres parámetros, con un parámetro de ubicación = 2.75735, escala = 0.5098, valor umbral = 0.40174 y con un tiempo medio = 25.6516. Seguidamente, al tratar los datos en segundos del tiempo entre paro relacionado con el índice de disponibilidad para toda la línea de ensamble, se encontró que siguen una distribución loglogística de tres parámetros con parámetro de



ubicación = 3.87275, escala = 0.47816, valor umbral = 6.87773 y con un tiempo medio = 79.2648.

El índice que más afectó al valor de confiabilidad general fue el de disponibilidad con 75.55 %, seguido del índice de eficiencia con 87.25 %, continuando con el índice de calidad con 90.15 % y, por último, siendo el índice que menos afectó al valor de confiabilidad general fue el de capacidad de entrega con 97.75 %.

### **Etapa 5. Realizar la propuesta de mejora o recomendaciones**

El índice de confiabilidad obtenido para este caso de estudio, aplicado en una línea de ensamble de tableros para automóviles, fue de 58.09 % y el índice que más afectó a este valor fue el de disponibilidad con 75.55 %. Por lo tanto, es recomendable aumentar el índice de disponibilidad, atendiendo primero lo que más afecta. Los elementos que afectan a la disponibilidad son el TMDP y el TMEP. En el caso del primero conviene tener un TMDP muy bajo o de cero y en el caso del segundo es provechoso que sea presentado un TMEP muy alto; de esta forma podrá ser asegurado un índice de disponibilidad alto.

La atención de problemas en la línea de ensamble exige un equipo de individuos con conciencia, en donde los operadores de la línea de ensamble son quienes tienen la capacidad de descubrir, corregir anomalías y aprender de esos errores para no continuar con ellos. Además, es necesario buscar que los operadores cuenten con las condiciones óptimas con el fin de aumentar la efectividad de la operación de la línea.

Es importante considerar que los tiempos de paro son los principales problemas que están presentes en este estudio, sin embargo, actualmente en esta organización no existe un sistema suficientemente documentado para poder medir de manera equilibrada el proceso bajo estudio.

El sistema informático actual genera algunos datos para cuantificar la cantidad de minutos que son presentados por cada estación y para la línea total de ensamble, no así para las causas o motivo de paro. Además, no están establecidos los mecanismos de análisis que puedan proporcionar información y focalizar los esfuerzos para disminuir tanto el número de paros como los tiempos de paro.

Esta organización cuenta con muchos elementos de apoyo, ingeniería de manufactura, de mantenimiento, de calidad, del departamento de sistemas y demás, sin embargo, habrá que considerar el desarrollo de una comunicación adecuada junto con una estructuración de

procedimientos que permitan tomar la información de los análisis para realizar las mejoras respectivas.

En el mismo sentido, es recomendable establecer sistemas de comunicación más eficientes para que el personal que proporciona las materias primas tenga la información con más precisión y así atender las demandas de materiales de forma anticipada.

Con respecto al departamento de sistemas, es recomendable establecer una comunicación directa con el departamento de producción del área de ensamble de tableros y establecer un equipo de solución de problemas de tal forma que cuando suceda un problema sea posible iniciar y establecer acciones de contención y luego establecer acciones de prevención utilizando alguna metodología de solución de problemas.

Es decir, para la mejora pueden conformarse equipos de solución de problemas utilizando las siete herramientas básicas de la calidad o metodologías como las ocho disciplinas, entre otras.

## Resultados

Los resultados muestran que, utilizando la metodología en conjunto con el modelo de medición, se puede obtener el índice de confiabilidad. Lo anterior es congruente con el objetivo de esta investigación, que fue desarrollar una metodología que permita conocer el estado del sistema a evaluar y que integre un modelo de medición que arroje un índice de confiabilidad para una línea de ensamble de la industria automotriz.

La metodología en este estudio resultó en cinco etapas: 1) identificar el área de estudio, 2) obtener información del área de estudio, 3) aplicar el modelo matemático, 4) realizar el análisis de resultados y 5) realizar la propuesta de mejora o recomendaciones.

Con respecto al modelo de medición de este estudio, sí fue posible obtener un índice de confiabilidad para una línea de ensamble de la industria automotriz. Para ello, primero fue calculada la capacidad de entrega para la línea de ensamble de acuerdo con la distribución de mejor ajuste de los datos recopilados; luego fue calculado el índice de eficiencia para la línea de ensamble de acuerdo con la distribución de mejor ajuste de los datos recopilados; después fue calculado el índice de calidad para la línea de ensamble, y por último, fue calculado el índice de disponibilidad para la línea de ensamble.

## Discusión

Para determinar los elementos de la metodología se tomó en cuenta el estudio de El-Lawendy (2013), quien, para evaluar la confiabilidad de un sistema de producción integrado por personas y máquinas, planteó seis pasos: 1) definir los componentes del sistema, 2) definir las condiciones de diseño y los objetivos del sistema, 3) recopilar los datos, 4) calcular la confiabilidad de los componentes, 5) integrar la confiabilidad de las personas y la confiabilidad de la máquina para evaluar la confiabilidad del sistema de producción y 6) calificar la confiabilidad del sistema.

En la metodología presentada en este estudio, está incluida la mayoría de los pasos de la metodología desarrollada por El-Lawendy (2013), aunque sin considerar el último paso, anexando la realización de la propuesta de mejora o recomendación y sin considerar pesos de contribución en los índices que forman la ecuación general de confiabilidad.

## Conclusiones

El objetivo fue cumplido al presentar la metodología que permitió conocer el estado del sistema a evaluar y el modelo matemático que resultó en un índice de confiabilidad para una línea de ensamble de la industria automotriz.

Para evitar cualquier porcentaje de error relativo habrá que considerar la distribución de mejor ajuste de los datos. Alternativamente, existe la opción de elegir las distribuciones por índices con el menor error relativo. Lo importante es encontrar las medias por distribución y seleccionar la media con la distribución de mejor ajuste para ingresarla en la fórmula de confiabilidad.

Las distribuciones de mejor ajuste son las mejores en todos los índices; aun así, es posible observar diferentes escenarios alternativos, entre ellos el más optimista sería seleccionar las distribuciones con el menor error relativo y el más pesimista sería seleccionar las distribuciones con el mayor error relativo.

Con respecto a lo anterior, para el índice de capacidad de entrega se ajusta muy bien el dato de la media de la distribución logística y como un escenario alternativo puede ser la media de la distribución loglogística, no recomendando la media de la distribución normal o la media de la distribución exponencial. Para el índice de eficiencia, se ajusta muy bien la media de la distribución Weibull y como escenario alternativo puede elegirse la media de la

distribución lognormal, no recomendando la media de la distribución loglogística. Para el índice de calidad, es obtenido por fórmula sin considerar distribución alguna.

El índice de disponibilidad, al igual que el índice de calidad, es obtenido por fórmula, con la diferencia de que se considera la media de la distribución de mejor ajuste para los tiempos de paro y la media de la distribución de mejor ajuste para los tiempos entre paros. Para el TMDP es adecuado considerar la media de la distribución loglogística de tres parámetros y como escenario alternativo puede ser la media de la distribución Weibull, no recomendando la media de la distribución logística. Para el TMEP es adecuado considerar la media de la distribución loglogística de tres parámetros y como escenario alternativo puede ser la media de la distribución loglogística, no recomendando la media de la distribución Weibull.

Además, donde existe mayor error relativo es en la media de los tiempos de paro y los tiempos entre paro. Cabe recordar que ambos son utilizados para calcular el índice de disponibilidad. Lo que significa que el índice de confiabilidad general principalmente depende del resultado obtenido en las medias de las distribuciones de mejor ajuste tanto para los tiempos de paro como para los tiempos entre paro.

Los principales productos resultantes en este estudio fueron por una parte la metodología con su estructura en fases y por otra parte el modelo matemático. Por la parte de la metodología, está compuesta de cinco etapas. Por la parte del modelo matemático, está compuesto de cuatro elementos.

Al aplicar tanto la metodología como el modelo matemático en una línea de ensamble, el índice que más afectó al valor de confiabilidad general fue el de disponibilidad con 75.55 %, seguido del índice de eficiencia con 87.25 %, continuando con el índice de calidad con 90.15 % y, por último, el índice que menos afectó al valor de confiabilidad general fue el de capacidad de entrega con 97.75 %.

Respecto a la disponibilidad, resultó ser el índice más bajo y, por lo tanto, el que más afecta. Los elementos que intervienen para su cálculo son el TMDP y el TMEP. En el caso del primero es conveniente tener un TMDP muy bajo o de cero y en el caso del segundo es provechoso que sea presentado un TMEP muy alto; de esta forma podrá ser asegurado un índice de disponibilidad alto.

Con respecto a los operadores, recomendamos maximizar sus habilidades y conocimientos sobre las operaciones a realizar en las estaciones de trabajo, sobre las características y condiciones de las materias primas a ensamblar y sobre las herramientas a



utilizar, con una formación adecuada a las necesidades específicas de cada estación de trabajo y de cada individuo.

Además, la atención de problemas en la línea de ensamble demanda un equipo de individuos con conciencia; los operadores de la línea de ensamble deben tener la capacidad de descubrir, corregir anomalías y aprender de esos errores para no continuar con ellos. Además, se debe buscar que los operadores cuenten con las condiciones óptimas con el fin de aumentar la efectividad de la operación de la línea.

Sin duda, la información y los datos para su tratamiento son importantes, por lo tanto, es recomendable obtener más información por un tiempo más extendido para encontrar esos faltantes. Además, es recomendable monitorear mes por mes el comportamiento del índice de confiabilidad y de todos los índices que deben calcularse para ser obtenido el índice de confiabilidad. Finalmente, es recomendable implementar la metodología propuesta en más líneas de producción.

## Futuras líneas de investigación

Es importante extender esta investigación hacia la detección de las causas que generan un alza o baja en cada uno de los índices declarados en este documento para obtener y mejorar la confiabilidad del sistema. Los conceptos de *industria 4.0* y *fábrica visual*, que en esencia buscan lograr un monitoreo y comunicación eficiente, pueden extenderse para apoyar a encontrar las causas y así generar proyectos focalizados para obtener un aumento en la confiabilidad del sistema. Es posible establecer sistemas de medición en línea o de monitoreo instantáneo con ayuda de sensores y dispositivos electrónicos que proporcionen índices a partir del monitoreo de las causas y que estos sean presentados tanto a la gerencia como a los clientes para que se sientan como parte de la organización. Al fin y al cabo, en eso consiste la confianza o confiabilidad que los clientes demandan de sus proveedores.

## Referencias

- Adeppa, A. (2015). A Study on Basics of Assembly Line Balancing. *International Journal on Emerging Technologies*, 6(2), 294-297.
- Choomlucksana, J., Ongsaranakorn, M. and Suksabai, P. (2015). Improving the Productivity of Sheet Metal Stamping Subassembly Area Using the Application of Lean Manufacturing Principles. *Procedia Manufacturing*, 2, 102-107. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.090>.
- EI-Lawendy, D. (2013). *An Approach to Evaluate Integrated Human - Machine System Reliability*. Saarbrücken, Germany: Verlag/Publisher.
- Evans, R. J. y Lindsay, M. W. (2015). *Administración y control de la calidad* (9.<sup>a</sup> ed.). Ciudad de México, México: Cengage Learning.
- Flores, C. E. y Flores, K. L. (2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov. *Societas*, 23(2), 83-106.
- Freivalds, A. y Niebel, B. W. (2014). *Ingeniería industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo* (13.<sup>a</sup> ed.). México: McGraw-Hill.
- Golmohammadi, A., Tajbakhsh, A., Dia, M. and Takouda, P. M. (2019). Effect of timing on reliability improvement and ordering decisions in a decentralized assembly system. *Annals of Operations Research*, 312, 159-192. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03399-5>.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). México: McGRAW-HILL.
- Kostina, M., Karaulova, T., Sahno, J. and Maleki, M. (2012). Reliability estimation for manufacturing processes. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 51(1), 7-13. Retrieved from [http://jamme.acmisse.h2.pl/papers\\_vol51\\_1/5111.pdf](http://jamme.acmisse.h2.pl/papers_vol51_1/5111.pdf).
- Mauergauz, Y. (2016). *Advanced Planning and Scheduling in Manufacturing and Supply Chains*. Moscow, Russia: Springer International Publishing Switzerland. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-27523-9>.
- Mendenhall, W., Beaver, R. J. y Beaver, B. M. (2015). *Introducción a la probabilidad y estadística* (14.<sup>a</sup> ed.). Ciudad de México, México: Cengage Learning.



- O'Connor, P. D. and Kleyner, A. (2012). *Practical Reliability Engineering* (5<sup>th</sup> ed.). New Delhi, India: John Wiley & Sons.
- Okpala, C. and Anozie, S. (2018). Overall Equipment Effectiveness and the Six Big Losses in Total Productive Maintenance. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 5(4), 156-164.
- Papulová, Z., Gažová, A., Šlenker, M. and Papula, J. (2021). Performance Measurement System: Implementation Process in SMEs. *Sustainability*, 13(9), 1-19. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su13094794>.
- Petrillo, A., De Felice, F. and Zomparelli, F. (2019). Performance measurement for world-class manufacturing: a model for the Italian automotive industry. *Total Quality Management & Business Excellence*, 30(7-8), 908-935. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1408402>.
- Ping-Chen, C., Yi-Kuei, L. and Yu-Min, C. (2019). System reliability estimation and sensitivity analysis for multi-state manufacturing network with joint buffers-A simulation approach. *Reliability Engineering and System Safety*, 188, 103-109. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.03.024>.
- Rodríguez, R., Sánchez, D., Martínez, J. L. and Arvizu, E. (2015). A case study: SMED & JIT methodologies to develop continuous flow of stamped parts into AC disconnect assembly line in Schneider Electric Tlaxcala Plant. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1399-1404. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.282>.
- Tsarouhas, P. H. and Arvanitoyannis, I. S. (2014). Yogurt production line: reliability analysis. *Production & Manufacturing Research*, 2(1), 11-23. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/21693277.2014.881268>.

## Anexo 1

**Tabla 8.** Formato de recopilación de datos.

Fecha	# de estación	Nombre del operador				
Turno		Nombre de la persona que captura				
Hora de inicio del paro	Hora de fin del paro	Motivo del paro: oper, herr, mat, otro (especif)	Falla o problema.	Comentario (acción tomada)	Hora inicio rotaciones	
					Rot	391/ 533
Hora inicio ausencia o demora operador	Hora fin ausencia o demora operador	Cubierto por otro operador (si/no)	Motivo de ausencia o demora operador	Comentario		
Periodo del turno en que se presenta el defecto	Tipo de defecto	Cantidad de piezas con el defecto	Defecto debido a: oper, herr, maq, mat, otro (especif)	Comentario (acción tomada)		
				Hora fin rotaciones		

Fuente: Elaboración propia



Rol de Contribución	Autor (es)
Conceptualización	Gilberto Orrantia Daniel «principal» Jaime Sánchez Leal «que apoya» Jorge de la Riva Rodríguez «que apoya»
Metodología	Gilberto Orrantia Daniel «principal» Jaime Sánchez Leal «que apoya»
Software	Gilberto Orrantia Daniel
Validación	Gilberto Orrantia Daniel «principal» Jaime Sánchez Leal «que apoya»
Análisis Formal	Gilberto Orrantia Daniel «principal» Jaime Sánchez Leal «que apoya»
Investigación	Gilberto Orrantia Daniel
Recursos	Gilberto Orrantia Daniel
Curación de datos	Gilberto Orrantia Daniel
Escritura - Preparación del borrador original	Gilberto Orrantia Daniel
Escritura - Revisión y edición	Ericka Berenice Herrera Ríos
Visualización	Gilberto Orrantia Daniel
Supervisión	Jaime Sánchez Leal «igual» Jorge de la Riva Rodríguez «igual» Rosa María Reyes Martínez «igual»
Administración de Proyectos	Gilberto Orrantia Daniel
Adquisición de fondos	Gilberto Orrantia Daniel