

CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE REPARACIÓN DE SERVIDORES EN UNA PLANTA MANUFACTURERA

CHARACTERIZATION OF THE SERVER REPAIR PROCESS IN A MANUFACTURING PLANT

Roberto Israel Aguirre Aguayo¹, Lizette Alvarado Tarango², Francisco Zorrilla Briones³, Manuel Arnoldo Rodríguez Medina⁴, Luz Elena Terrazas Mata⁵

¹Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas. robertocroom.08@hotmail.com, 6563166327. Av. Tecnológico No. 1340, Fraccionamiento El Crucero, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C.P. 32340.

²Maestría en Ingeniería Administrativa. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación. lalvarado@itcj.edu.mx, 6561377389. Av. Tecnológico No. 1340, Fraccionamiento El Crucero, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C.P. 32340.

³Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación. fzorrilla@itcj.edu.mx, 6566882500. Av. Tecnológico No. 1340, Fraccionamiento El Crucero, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C.P. 32340.

⁴Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación. manuel_rodriguez_itcj@yahoo.com, 6566882500. Av. Tecnológico No. 1340, Fraccionamiento El Crucero, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C.P. 32340.

⁵Doctor en Ciencias en Ingeniería. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación. lterrazas@itcj.edu.mx, 6566882500. Av. Tecnológico No. 1340, Fraccionamiento El Crucero, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C.P. 32340.

Resumen – En esta investigación se presenta la caracterización del proceso de reparación seguido para el componente PCB de servidores por el departamento de producción, los resultados de la determinación de una falla falsa y su impacto al métrico DPPM en su categorización NFF. Tras el uso de la metodología DMAIC, mapas de flujo de valor y la caracterización de variables, se lograron identificar diferencias físicas entre los métodos de prueba ejecutados por los distintos departamentos involucrados para lograr obtener un resultado de falla falsa al finalizar el proceso. Se infiere en los resultados del medible DPPM y su categorización NFF tras realizar las acciones de la metodología DMAIC revisada en la investigación. En la determinación del tamaño de la muestra se tomó en cuenta el histórico de dos años como factor decisivo. Se elaboró un plan de acción ante cada situación de diferencia, se agregaron documentos de control nuevos a los procesos existentes y se igualaron las herramientas de medición y métodos de prueba entre todos los departamentos para reducir la posibilidad de variación en los resultados finales de la determinación de una falla falsa. Estos cambios generan beneficios tales como, mejor registro de la información, mejora en el proceso de reparación, incremento en la efectividad de asertividad de reparación, mejora en los tiempos de reparación, mejora en el métrico DPPM en su porción NFF, minimización de costos de almacenamiento y reducción de tiempos de espera en un ambiente de regresa y repite.

Palabras Clave: Caracterización, DMAIC, DPPM, falla falsa, metodología, mejora, NFF, PCB.

Abstract – In this investigation is presented the characterization of the repair process followed for the PCB component in servers by the production department, the results of the determination of a false failure and his impact on DPPM indicator on his NFF portion. Through DMAIC methodology, value stream mapping and variable characterization was possible to identify physical differences between test methods on the different departments involved to obtain as result a false failure at the end of the process. Its inferred the results of DPPM metric in his NFF categorization after realize the actions of DMAIC methodology reviewed in the investigation. On sample size determination, an historic of two years was taken as principal factor. Action plans were elaborated on each different situation; new control documents were created and added into the existing ones and measuring tools and testing methods between all departments to reduce the possibility of variation in the results of the determination of a false failure. These changes has benefits, such as, better records of information, enhancement in the repair process, increasing of effectiveness of assertively during repair process, enhancement on time elapsed in a repair process, enhancement on DPPM indicator on his NFF portion, minimizing of storage cost and idle time reduction for repeat and return factor.

Key words – Characterization, DMAIC, DPPM, false failure, methodology, enhancement, NFF, PCB.

INTRODUCCIÓN

La problemática se desarrolla en una organización de manufactura (ABC) de paneles de seguridad, servidores y racks como soluciones integrales de sistemas informáticos complejos.

La empresa tiene dos indicadores de carácter obligatorio y crítico para mantener dentro de rango, esto asegura que el cliente recibe productos de calidad hechos con cero defectos, pasando al primer intento de prueba (FPY, por sus siglas en inglés, First Pass Yield), lo que asegura que se le paga al asociado una vez por el trabajo realizado, aprovechando así al máximo el tiempo de ciclo, y los reemplazos de PCB, midiendo y asegurando la efectividad de los diagnósticos de reemplazos en piezas defectuosas DPPM, realizado por técnicos de reparación. Los indicadores generales del principal cliente organización ABC de *FPY*, así como el puntaje que se obtuvo en los *DPPM* en ese tiempo durante el penúltimo cuarto (Q3) y último cuarto (Q4) del año 2020 se muestran en la figura 1 y 2 respectivamente.

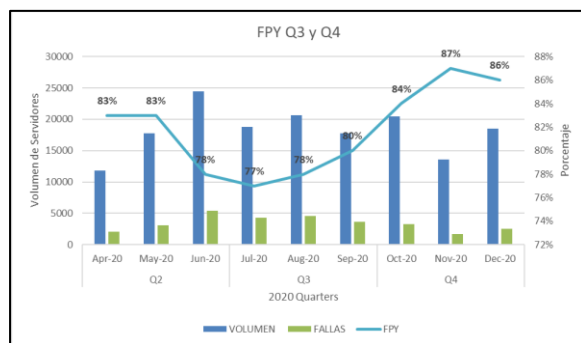


Figura 1 FPY de Q3 y Q4 2020 de Organización ABC.
Fuente: Departamento de Calidad (QA, por sus siglas en inglés, Quality Assurance).

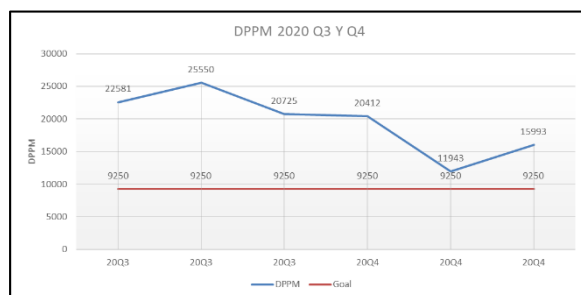


Figura 2 DPPM de Q3 y Q4 2020 de Organización ABC. Fuente: Departamento de QA.

En los gráficos se muestra que se presentó un incremento en los *DPPM* llegando al doble del límite establecido. Durante el análisis de los datos, el incremento de *DPPM*, se vio afectado el componente *PCB*, teniendo una

correlación con la determinación que brindan los técnicos de reparación de producción.

Los resultados por parte de OSV, durante ese periodo de tiempo, fueron clasificados tal y como se muestra en la figura 3.

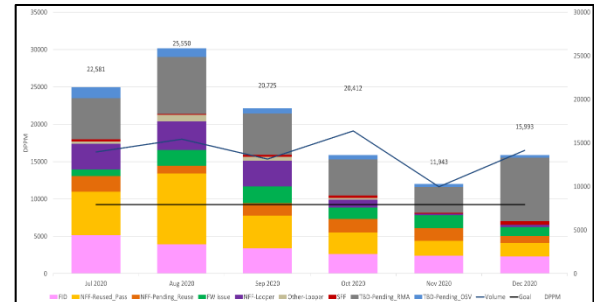


Figura 3 Tabla de análisis de MRB de DPPM de PCB con resultados Factory Induced Damage (FID), Not Failure Found (NFF), Supplier Failure Found (SFF), Firmware Issue (FW Issue) y To Be Defined (TBD) de Q3 y Q4 del año 2020.

El proceso establecido para determinar la disposición final de un material que es reemplazado por las líneas de producción, marcado como defectuoso, o con falla, indica que el componente tiene que ser analizado en un primer paso por el departamento de Área de Revisión de Material (*MRB*, por sus siglas en inglés, *Material Review Board*), tal y como se muestra en la figura 4.

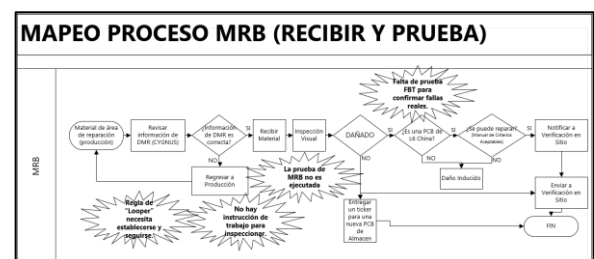


Figura 4 Proceso de un reemplazo de material desde MRB (Pruebas de Primer Nivel).

Dichos resultados tienen como punto crítico el porcentaje de *PCB* con resultado *NFF*, por sus siglas en inglés Not Failure Found. Esto nos posicionó a nivel global en la posición 2 en el tablero de nuestro principal cliente Organización ABC, creando una alerta y preocupación con respecto a los métodos de análisis de causas seguidos para determinar las causas raíces que llevaron al departamento de reparación a reemplazar la *PCB*. Así, en primer lugar; el 37% de dichos reemplazos fueron determinados como *NFF* (no se les hizo ningún tipo de reparación), y 28% de estos, fueron devueltos a almacén central y utilizados de nuevo, de los cuales el 20% pasó su punto de falla anterior, concluyó las pruebas exitosamente y se envió a la unidad de negocios XYZ y

el otro 8% restante, está en espera de ser liberado a producción para determinar si pasa o falla.

El nivel de *DPPM* encontrados en el componente *PCB*, tuvo un incremento cercano al 200%, pero este no fue reemplazado con ayuda de métodos de investigación y análisis de datos que validasen su correcta clasificación como defectuosos en primera instancia; causando de esta manera un incremento en los *NFF*, con una tasa de 37% de reingreso al almacén central, con un 20% de éxito.

Lo anterior es un indicativo de la deficiencia que existe en las metodologías de investigación, análisis de los datos y las herramientas que tienen a su disposición el personal de reparación para determinar de manera precisa, el reemplazo de una *PCB*, con un porcentaje de éxito alto (definimos como éxito, el reemplazo de *PCB* con un defecto encontrado y que no regresa al almacén central para volver a ser utilizada).

El problema que aborda este proyecto de investigación, es la inexistencia de una estrategia definida para declarar piezas como defectuosas con alto porcentaje de éxito y de qué manera impactará en la empresa la implementación de entrenamientos especializados y el desarrollo de una metodología sistemática basada en la recolección de datos de manera histórica basada en su porcentaje de éxito.

Como objetivos se tiene que determinar cuáles son las variables y cómo impactan en los *DPPM* en el área de reparación de producción en relación con el componente *PCB*. Desarrollar estrategias para minimizar las falsas fallas en el área de reparación de producción que impactan en los *DPPM* en el área de reparación de producción en relación con el componente *PCB*. Determinar las mejores condiciones de operación del proceso de análisis, detección y reparación de fallas.

MRB estimó que toma un tiempo promedio de 1 hora hombre hacer una revisión del componente determinado como falsa falla, y tiene un costo mensual de \$11,824.00 MXN. Material de inventario detenido por mes en promedio tiene un costo de \$3,371,330.30 MXN.

En relación al tiempo entre el resultado de la disposición final del análisis realizado por el departamento de MRB hasta la fecha que el componente *PCB* es usado por segunda vez, da un tiempo de 2 meses almacenado.

Con base a la información previamente presentada, esta investigación encuentra su justificación en el ahorro del costo de horas hombre, espacio de almacenamiento y tiempos de espera de un material declarado como falsa falla hasta que es usado por segunda ocasión y no presenta ninguna falla.

DESARROLLO

En la Teoría General de Sistemas (TGS) [1], tiene como objetivo analizar y estudiar la realidad y desarrollar modelos de comprensión.

Se define también como sistemas completamente estructurados [2], donde los componentes, elementos y subsistemas se combinan de forma invariable y rígida, y su resultado es inalterable. Se entiende que los sistemas abiertos mantienen una conexión continua o parcial con el entorno y el contexto en el que existen, a través de intercambios.

Características de un Sistema

En la Teoría General de Sistemas [3] considera que existen relaciones, las cuales son los enlaces que vinculan entre sí a las cosas, individuos o subsistemas que componen a un sistema complejo, llamando a estas estructuras y se pueden clasificar en:

- i. Simbióticas: implica que los sistemas interconectados necesitan una retroalimentación constante de otro subsistema para funcionar adecuadamente. Esta relación puede dividirse en dos tipos: unipolar o parasitaria, en la que un sistema no puede sobrevivir sin el otro; y bipolar o mutual, en la que ambos sistemas dependen uno del otro.
- ii. Sinérgica: no es necesaria para el funcionamiento del sistema, pero mejora su desempeño de manera significativa.
- iii. Superflua: son aquellas que repiten otras relaciones. Estas relaciones se establecen para aumentar la confiabilidad del sistema, ya que su presencia aumenta la probabilidad de que el sistema funcione en todo momento y no solo en parte.

La manufactura esbelta es una filosofía japonesa, que tiene su origen en el Sistema de Producción Toyota (*TPS*, por sus siglas en inglés, *Toyota Production System*) enfocada a un sistema de justo a tiempo [4], enfocada a la identificación y reducción de desperdicios, logrando de esta manera aumentar el valor de cada actividad que se realiza y eliminando aquella que no se requiere.

La manufactura esbelta es una forma sencilla de mejorar las operaciones o actividades de cualquier sistema de producción, que se basa en hacer más con menos recursos (como menos esfuerzo humano, equipamiento, tiempo y espacio). Se trata de un conjunto integrado de principios y métodos, que representa una filosofía de gestión empresarial que busca alcanzar la perfección del sistema en su totalidad.

Metodología 9 S's

Las 9 S's [5], buscan generar un ambiente de trabajo de organización, orden y limpieza en la empresa, que además de ser congruente con la calidad total, brinda al ser humano la oportunidad de ser muy efectivo, ya que abarca el mejoramiento de las condiciones mentales de quien se apeg a esta metodología.

1. *Seiri* (Ordenar o Clasificar)
2. *Seiton* (Organizar o Limpiar)
3. *Seiso* (Limpieza)
4. *Seiketsu* (Bienestar Personal o Equilibrio)
5. *Shitsuke* (Disciplina)
6. *Shikari* (Constancia)
7. *Shitsukoku* (Compromiso)
8. *Seishoo* (Coordinación)
9. *Seido* (Estandarización)

Es necesario planear siempre considerando a la gente, desarrollar las acciones pertinentes, checar paso a paso las actividades comprendidas y comprometerse con el mejoramiento continuo, como se muestra en la figura 5.

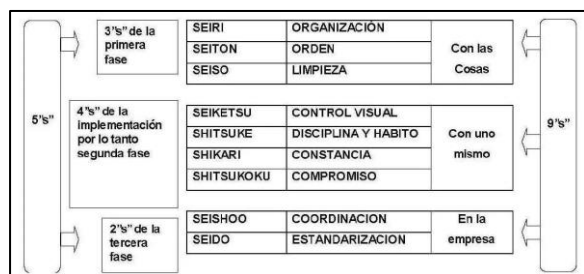


Figura 5 Detalles de la aplicación de cada una de las 9S y sus etapas.

Mapa del Flujo de Valor (VSM, por sus siglas en inglés, *Value Stream Mapping*) es una herramienta de manufactura esbelta para visualizar, analizar y mejorar los flujos de materiales y de la información dentro de los procesos de producción, considerando desde el inicio del proceso de manufactura hasta la entrega con el cliente final [6].

Se define como aquellas actividades que le dan un valor agregado al producto desde la perspectiva del cliente y que involucra todo el camino que debe seguir el producto desde la recepción del pedido hasta la entrega al cliente final [7].

Actualmente existen varios métodos que ayudan a prevenir errores en los procesos industriales. Seis Sigma es uno de ellos, es adoptado mundialmente por su calidad, con el objetivo de brindar mejores productos o servicios, a menor costo y en menor tiempo [8].

Seis Sigma significa control métrico de procesos, proporcionando soluciones, controles y objetivos alcanzables basados en entradas de parámetros primarios y secundarios [9].

La metodología *DMAIC* [10], así como su secuencia y relaciones entre las diferentes fases, es mostrada en la figura 6.

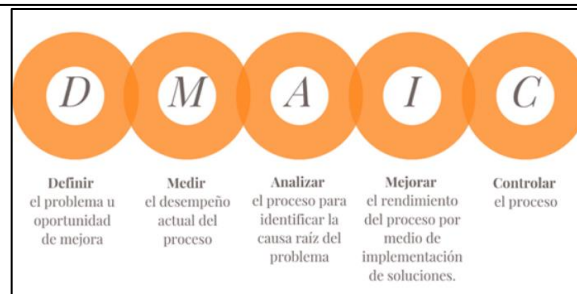


Figura 6 Metodología DMAIC.

A su vez, la metodología Seis Sigma es una herramienta estadística que permite la caracterización de los procesos y sus estudios utilizando esta desviación estándar y así se puede observar la variabilidad de los cambios del proceso hasta los límites establecidos por solicitud del cliente.

Bajo la campana de Gauss [11], es el porcentaje de unidades que están libres de error para cada nivel de Sigma. Claramente, nivel 1 de Sigma abre la posibilidad para de que más unidades que no cumplan con los requisitos puedan considerarse un producto conforme y viceversa para nivel 6 de Sigma, tal como se muestra en la figura 7.

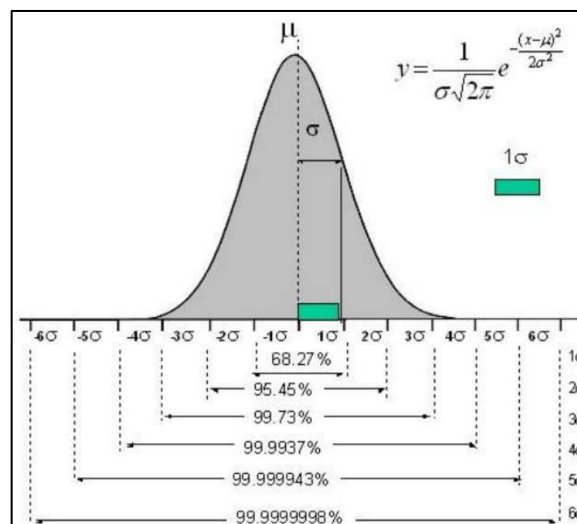


Figura 7 Gráfica de comportamiento normal del valor de Sigma.

H. Qi [12], realiza una investigación de campo en componentes *PCB* en donde estos tras ser detectados con una falla, son analizados y clasificados como *NFF*. Durante la investigación se realizan diagramas de causa y efecto para su análisis y determinación, tal como se muestra en la figura 8.

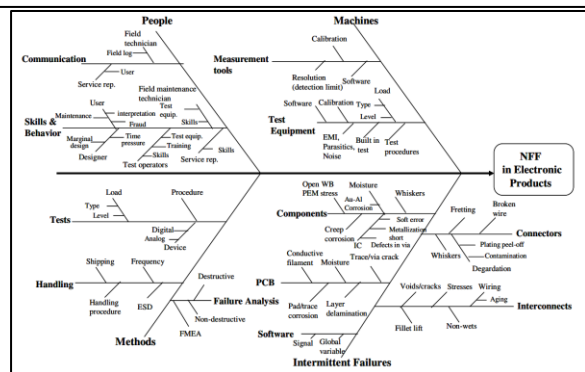


Figura 8 Ejemplo de Diagrama Ishikawa de No Fault Found en productos electrónicos.

Las causas generales de un resultado *NFF* [13] se categorizan en: personal, maquina, métodos y fallas intermitentes. Cada categoría es después analizada, así como su explicación y comprensión para la adquisición de datos y su posterior análisis.

Partiendo de la premisa y la naturaleza de los datos que esta investigación maneja, se considera que la investigación se puede clasificar de tipo cuantitativa. Lo anterior en virtud de la delimitación de estudio, las hipótesis planteadas y las variables a analizar, forman la estructura de las características del tipo de investigación [14]. Debido a la metodología utilizada, se considera que el proceso a seguir es secuencial y no se pueden saltar etapas de la metodología. De acuerdo con la taxonomía sugerida por Hernández-Sampieri [15], el enfoque cuantitativo en la naturaleza de datos, se orienta a la validación de las predicciones iniciales (hipótesis) y estudios previos.

En la Tabla 1 a la Tabla 4 se muestran los pasos a seguir y la metodología sugerida *DMAIC* para el desarrollo de la investigación con la finalidad de mejorar el proceso de detección de fallas falsas mediante el entrenamiento de técnicos de reparación a través de la correcta identificación de variables que tienen impacto en los resultados de clasificación de reemplazos de componente *PCB*.

Tabla 1 Etapas de la Metodología Utilizada.

ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN		
ACTIVIDAD	DESARROLLO	SALIDA
DEFINIR		
D1	Obtener la información de DPPM para componente PCB de los años 2020 y 2021 de la Organización ABC.	Datos sin modelación gráfica que contiene números de serie, ordenes de trabajo, línea de ensamble, fecha de falla, fecha de reemplazo, técnico de reparación, modelo, código de falla, descripción de falla, comentarios de la reparación, componente reemplazado, número de serie del componente reemplazado.
D2	Definir los valores que reducen la cantidad de datos a analizar en la investigación.	Verificar con el Departamento de Ingeniería de Producto, cual es la mejor manera de identificar el componente PCB.
D3	Realizar una separación de las distintas clasificaciones de los resultados de DPPM para componente PCB de los años 2020 y 2021 de la Organización ABC.	Graficar las distintas clasificaciones de los resultados de DPPM. Graficar por separado cada una de las clasificaciones con sus metas.
D4	Conocer el proceso seguido por los técnicos de reparación dentro de la Organización ABC para el reemplazo de componente PCB.	Revisar la librería de Procesos Internos Establecidos en la Organización ABC.
D5	Conocer el proceso seguido por el departamento de MRB dentro de la Organización ABC para la aceptación del componente PCB.	Revisar la librería de Procesos Internos Establecidos en la Organización ABC.
D6	Conocer el proceso seguido por el departamento de MRB dentro de la Organización ABC para la prueba de primer nivel del componente PCB.	Revisar la librería de Procesos Internos Establecidos en la Organización ABC.

En esta etapa se hizo la selección de un equipo multidisciplinario para el análisis de la problemática que se está viviendo en la empresa con respecto al métrico *DPPM* del componente *PCB* en la unidad de negocios XYZ. Dentro del análisis se contemplaron los departamentos involucrados en el proceso de reparación y reemplazo del componente *PCB*, así como los departamentos que brindan servicio de soporte en función de la acción de reemplazo, siendo estos departamentos: Reparación de Producción, Calidad de Producción, Ingeniería de Producto, Calidad de Retorno de Material, Calidad de Proveedores, Análisis de Datos e Ingeniería de Pruebas.

A cada departamento se le establecieron tareas para conceptualizar los procesos que estos siguen para realizar un reemplazo del componente *PCB*, así como la identificación de las actividades críticas dentro de estos procesos a través de un Mapa de Flujo de Valor.

Tabla 2 Etapas de la Metodología Utilizada (continuación).

MEDIR		
M1	Determinar el periodo de tiempo en el que se analizarán los resultados del métrico DPPM del componente PCB.	Elegir un periodo de tiempo considerable en base a un tamaño de registros considerable en relación a la producción diaria.
M2	Determinar el espacio dentro de la planta en el que se evaluará el desempeño del métrico DPPM del componente PCB.	Elegir las mesas de reparación en donde se realizará la investigación en base al mayor registro de fallas.
M3	Determinar las variables que no serán tomadas en cuenta de los datos presentados.	Elegir las variables que representan menor impacto en los datos presentados.
M4	Determinar por medio de la regla de 80/20 cuáles son los datos en donde se concentra el mayor número de DPPM.	Utilizar la regla del 80/20 para saber en donde se encuentra la mayor cantidad de datos.
M5	Identificar las áreas de oportunidad dentro del proceso que siguen los técnicos de reparación para reemplazar el componente PCB.	Utilizar la herramienta Visio para realizar el Mapa de Flujo de Valor.
M6	Identificar las áreas de oportunidad dentro del proceso que sigue el personal de MRB para recibir el componente PCB.	Utilizar la herramienta Visio para realizar el Mapa de Flujo de Valor.
M7	Identificar las áreas de oportunidad dentro del proceso que sigue el personal de MRB para probar el componente PCB.	Utilizar la herramienta Visio para realizar el Mapa de Flujo de Valor.

Considerando el volumen de producción en el año 2020, 208,659 servidores y en el año 2021, 169,609 servidores; utilizando el modelo de mayor producción durante el mismo periodo de tiempo, se calculó el tamaño de la muestra, que se efectuaría en función del tiempo en el componente PCB reemplazado por semana y por la periodicidad del cálculo del métrico DPPM en base a los envíos realizados.

$$\text{Año 2020 } n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2(N-1) + Z^2 \sigma^2} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$\text{Año 2020 } n = \frac{(1.96)^2 (0.5)^2 (20887)}{e^2(20887-1) + (1.96)^2 (0.5)^2} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\text{Año 2020 } n = 378 \quad \text{Ec. (3)}$$

$$\text{Año 2021 } n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2(N-1) + Z^2 \sigma^2} \quad \text{Ec. (4)}$$

$$\text{Año 2021 } n = \frac{(1.96)^2 (0.5)^2 (19250)}{e^2(19250-1) + (1.96)^2 (0.5)^2} \quad \text{Ec. (5)}$$

$$\text{Año 2021 } n = 377 \quad \text{Ec. (6)}$$

Tabla 3 Etapas de la Metodología Utilizada (continuación).

ANALIZAR		
A1	Listar las potenciales causas raíces que influyen en una incorrecta determinación de falla en componente PCB por el técnico de reparación.	Priorizar las principales causas raíces que se trabajarán para mejorar la determinación de una falla por un técnico de reparación.
A2	Listar las diferencias físicas entre la metodología de determinación de falla entre los técnicos de reparación y los técnicos de MRB.	Priorizar las diferencias físicas de los departamentos que logran obtener diferentes resultados por los técnicos de reparación y técnicos de MRB.
A3	Determinar el impacto de las causas raíces que influyen en una incorrecta determinación de falla en componente PCB por el técnico de reparación.	Obtener una evaluación de resultados simulados si las causas raíces por una determinación incorrecta no existieran.
A4	Determinar el impacto de las diferencias físicas entre la metodología de determinación de falla entre los técnicos de reparación y los técnicos de MRB.	Obtener una evaluación de resultados simulados si las diferencias físicas en la metodología de determinación de falla no existiera.
MEJORAR		
11	Desarrollar lluvia de ideas con los técnicos de reparación para mejorar sus habilidades de análisis de una falla.	Lluvia de ideas con los técnicos de reparación para entender sus necesidades actuales con relación a la manera en la que analizan una falla.
12	Desarrollar lluvia de ideas con los técnicos de MRB para mejorar las áreas de oportunidad dentro de sus procesos.	Lluvia de ideas con los técnicos de MRB para entender sus necesidades actuales en virtud del método que utilizan para validar una falla.
13	Evaluar el costo que tendría eliminar las diferencias físicas entre la metodología de determinación de falla entre los técnicos de reparación y los técnicos de MRB.	Se detectaron diferencias en metodología y equipo utilizado por cada uno de los departamentos. Se analiza el costo-beneficio que se obtendría si estas condiciones son iguales.
14	Prevenir nuevos modos de falla con los técnicos de reparación si las diferencias físicas se eliminan.	Se realiza la presentación a los miembros de Staff de la Organización ABC en donde se determina el costo de igualar el equipo con el que son identificadas las PCB como NFF en el área de MRB, así como el beneficio planeado si se adquiere lo necesario para la igualdad.
15	Realizar plan de implementación de cambios en base a las lluvias de ideas con los equipos.	Selección de ideas con mayor alcance y mayor beneficio con retroalimentación de todos los equipos para asignar actividades y tiempos de entrega de las mismas.

Durante el análisis de los datos provistos por el departamento correspondiente, se identificó que se encuentra el Producto A como mayor cantidad de volumen producido en toda la empresa durante 2020 y 2021, representando un promedio anual del 80% de la producción, en cantidad alrededor de 80,000 servidores en promedio anual; transformado en cantidad son 1540 servidores por semana, 308 servidores diarios. Con estos datos, apegado a la delimitación de la investigación, el resultado del tamaño de la muestra, los códigos de error de mayor contribución y el análisis de los Mapas de Flujo de Valor de cada departamento, se lograron identificar diferencias significativas en el método de análisis de falla con los técnicos de reparación en la manera que el componente PCB es validado para confirmar que el componente es realmente defectuoso, en comparación al departamento de MRB y su metodología de análisis de falla y comprobación de falla real.

En la etapa de mejorar, el equipo multidisciplinario visualizo los Mapas de Flujo de Valor de cada uno de los procesos y departamentos involucrados durante el reemplazo de un componente PCB; a través de la comunicación efectiva y la crítica constructiva se logaron identificar las diferencias en cada uno de los procesos, evidenciando de esta manera el motivo del porque durante la primera etapa de validación de funcionalidad del componente PCB existen demasiadas fugas. Del mismo modo, se identificaron diferencias en la segunda etapa de validación de funcionalidad del componente PCB al ser reemplazado. Como soporte al análisis y deducción en cada parte del proceso, se utilizó el diagrama de cola de pescado para cada Mapa de Flujo de Valor y en cada parte del proceso se determinaron distintos problemas a solucionar con el fin de tener las mismas capacidades de prueba y los mismos equipos de prueba.

Tabla 4 Etapas de la Metodología Utilizada (continuación).

CONTROLAR		
C1	Monitorear el mismo espacio en mesas de reparación de la Organización ABC en base a la implementación de cambios.	Se realiza una auditoría de comentarios de reparación y eficiencia de la reparación de las mesas determinadas en la investigación.
C2	Monitorear el mismo espacio de área de MRB de la Organización ABC en base a la implementación de cambios.	Se realiza una auditoría de comentarios de resultados de OSV y eficiencia de la reparación de las mesas de reparación.
C3	Evaluar con los resultados obtenidos si es factible replicar los cambios a las diferentes mesas de reparación de la Organización ABC.	Uso del formato de retorno de inversión de proyectos de la Organización ABC.
C4	Lecciones aprendidas durante el análisis de todos los datos y los cambios realizados.	Identificar las lecciones aprendidas durante el análisis de todos los datos y los cambios realizados.
C5	Actualizar los procesos de la Organización ABC con los cambios realizados en los diferentes departamentos.	Actualizar los procesos de la Organización ABC con los cambios realizados en los diferentes departamentos.

En virtud de los resultados medidos en los distintos departamentos y distintos procesos de esta investigación a través de la metodología utilizada, se analizan las conclusiones de las acciones tomadas y cambios en los procesos para su evaluación de extrapolación en toda la

Organización ABC, tomando en cuenta que dentro de la delimitación del problema y la investigación se consideró sólo una parte de la Organización ABC, así como sólo un modelo de producto; dando como resultado la publicación de los resultados obtenidos y recomendaciones para su posterior extensión de la metodología y procedimiento.

Declaración de Hipótesis

En virtud de comprensión para el lector, se realiza un diagrama de flujo, figura 9, del proceso de manera simplificada, con la intención de identificar dentro de todos los procesos y departamentos, dónde se ubican las variables, con el fin de identificar de manera correcta, que, en base a su identificación, la declaración de las hipótesis se está realizando de manera correcta con el fin de no caer en la invalidez.

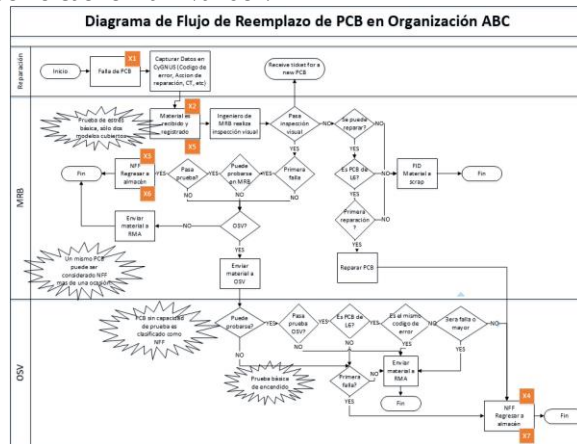


Figura 9 Diagrama de Flujo de Reemplazo de PCB de Organización ABC.

De acuerdo a la tabla 4.2, se hace una extrapolación de las variables y los significados de cada una de las variables siguiendo su proceso de manera lineal en cada uno de los casos, y a continuación se establecen las siguientes hipótesis:

$$H_0^1 \mu_2 \leq \mu_5 \quad \text{Ec. (7)}$$

$$H_1^1 \mu_2 > \mu_5 \quad \text{Ec. (8)}$$

$$H_0^2 \mu_3 \leq \mu_6 \quad \text{Ec. (9)}$$

$$H_1^2 \mu_3 > \mu_6 \quad \text{Ec. (10)}$$

$$H_0^3 \mu_4 \leq \mu_7 \quad \text{Ec. (11)}$$

$$H_1^3 \mu_4 > \mu_7 \quad \text{Ec. (12)}$$

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se describen los cambios realizados en los procesos, métodos y equipo relacionados con los departamentos involucrados en las posibles clasificaciones del componente PCB durante su determinación de funcionalidad.

Cambios en Proceso de Técnicos de Reparación

Durante el análisis del proceso que siguen los técnicos de reparación se identificó que estos no utilizan los

diagramas de flujo determinados para los distintos códigos de error o tipos de falla en el componente PCB, lo cual se considera una omisión al proceso, causando así variación en los resultados durante su primer intento de determinación de funcionalidad. Para evitar dichas omisiones, se optó por crear y publicar una lista de verificación de acciones en el Sistema de Gestión de Calidad de la Organización ABC, tal y como lo muestra la figura 10 y haciéndolo un requisito para que en su siguiente etapa pueda ser recibido y continuar con su proceso de determinación de funcionalidad.

Checklist:	
1. Resolución de problemas (Reparación)	Resultados
Revisar e interpretar el msg log de falla	X NA
Revisar en sistema CTV de unidades de la orden	X 100
Revisar si otras unidades pasaron el punto de falla	X 20
Determinar tipo de falla (NFF / Necesita soporte de Sustaining)	X Se solicita soporte de Sustaining
Limpieza de eventos (NFF)	X NA
Realizar una revisión de presencia y/o setting en BIOS	X Version BIOS 2.5
Revisión en base de correcta detección de FID y descripción del componente	X NA
Revisar el ensamblado correcto de la unidad contra SOP o subconfig según sea el caso (reinsert)	X NA
Revisar visualmente componentes	X No componentes dañados
Realizar swap de componentes o retirar presencia de los mismos dependiendo el issue	X Swap falla persiste
Solicitar soporte de técnico experto	X Se solicita soporte.

Figura 10 Lista de verificación de actividades durante la comprobación de funcionalidad del componente PCB.

Cambios en Proceso de Departamento de MRB

En el departamento de MRB se hicieron dos cambios significativos, en primera instancia, se hizo obligatorio el requerir la lista de verificación llenada en su totalidad y autorizada electrónicamente por los distintos equipos de soporte en cada reemplazo de componente PCB, tal y como lo muestra la figura 11. Como segunda instancia, se eliminó la instrucción de regresar a almacén central el componente PCB cuando se registra por primera vez el número de serie en el sistema de rastreo de reemplazos de componente PCB, eliminando de esta manera los falsos-positivos (NFF).



Figura 11 Pasos y autorizaciones requeridas para aceptar el reemplazo de componente PCB en MRB.

Cambios en Proceso de Departamento de OSV

En el proceso de determinación de funcionalidad del componente PCB en el departamento de OSV, se identificó que no existía una correcta clasificación y completa documentación de los hallazgos encontrados durante sus pruebas y/o reparaciones. Dentro de estas irregularidades antes mencionadas, se detectó que el departamento de OSV, como última instancia, que el componente PCB no presentaba una falla funcional (NFF) y cuando éste regresaba a almacén central y era utilizado en producción regular, presentaba la misma falla presentada la primera vez que fue determinada por las

primeras dos instancias, técnicos de reparación y departamento de MRB.

Cambios en Método de Técnicos de Reparación

Se denomina método de reparación a ayudas visuales, diagramas de flujo, y/o instrucciones para lograr identificar si el componente PCB tiene una falla funcional o puede ser algún otro componente el causante de la falla o error. Se identificó que los métodos seguidos por los técnicos de reparación se encontraban desactualizados, con imágenes de versiones de software que no se encontraban en vigencia, errores de secuencia y el uso de hojas impresas que no tienen un control dentro del Sistema de Gestión de Calidad de la Organización ABC, por lo que se optó por actualizar y migrar todo a contenido digital dentro de la plataforma de la Organización ABC, tal y como se muestran en las figuras 12 y 13, haciéndolo de esta manera necesario pasar por un proceso de aprobación para su publicación y de fácil acceso en su área de trabajo.

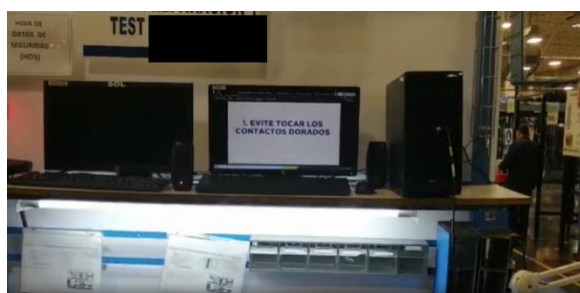


Figura 12 Actualización de ayudas visuales en plataforma digital de Organización ABC.

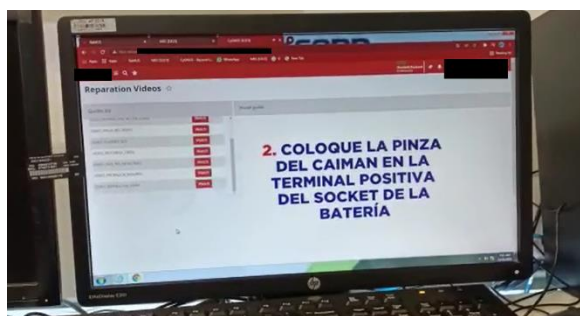


Figura 13 Publicación de videos en plataforma digital de Organización ABC.

Cambios en Método de Departamento de MRB

Al igual que en el departamento de técnicos de reparación, se identificaron ayudas visuales, diagramas de flujo, y/o instrucciones para lograr identificar si el componente PCB tiene una falla funcional o puede ser algún otro componente el causante de la falla o error en estatus de obsoletos y/o desactualizados. De igual manera, se detectó que el departamento de MRB realizaba acciones de reparación que no contribuían a conocer la causa raíz de la falla, se realizaba la corrección y se

determinaba como NFF, tal y como lo muestra la figura 14, causando así variación en los resultados dentro del métrico DPPM ya que en realidad es considerado como SFF con una corrección.

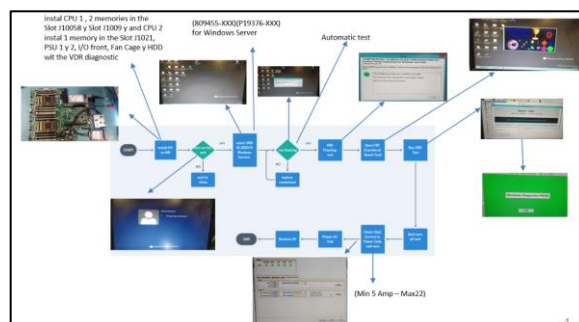


Figura 14 Detección de método seguido para algunas correcciones en departamento de MRB que causaba determinación NFF siendo SFF con una corrección.

Cambios en Método de Departamento de OSV

Durante el análisis de acciones de reparación y correctivas realizadas por OSV, además de omitir la documentación y la causa raíz real de la falla, se detectó que utilizaban una herramienta que realiza una corrección a nivel firmware en el componente PCB y este era declarado como NFF, cuando en realidad era un SFF y después de su acción de reparación se considera que puede volver a utilizar para comprobar que la falla funcional a nivel firmware fue corregida. En virtud de lo anterior, tal y como lo muestra la figura 15, se determinó como acción correctiva, compartir de manera global, un reporte de seguimiento de acciones de reparación realizadas para lograr identificar si se tienen diferencias en procesos.

Figura 15 Realización de reporte a nivel global en donde se plasman acciones correctivas y ultima determinación en base a los hallazgos.

Cambios en Equipo de Técnicos de Reparación

El equipo con el que cuentan los técnicos de reparación para validar si el componente PCB tiene una falla funcional o no, no es estándar en ninguno de los diferentes departamentos que participan en la determinación de falla funcional, por lo que se realizó un análisis para determinar el modelo, versiones de software, hardware y todos los componentes instalados en el

sistema de validación denominado como “Equipo Golden”, así como partes de reemplazo considerando que el uso constante durante la comprobación de fallas funcionales puede dar pie al desgaste, mal funcionamiento y/o daños a alguno de los componentes de todo el sistema. El costo de este equipo para el departamento de técnicos de reparación fue de un aproximado de \$30,000 USD como se muestra en la figura 16.

Cambios en Equipo de Departamento de MRB

La diferencia de equipo con el que cuenta el departamento de MRB para validar si el componente PCB tiene una falla funcional o no, no es estándar en ninguna de las etapas de determinación, realizar una estandarización llevo a un costo de equipo para el departamento de OSV fue de aproximadamente \$30,000 USD como se muestra en la figura 16.

Cambios en Equipo de Departamento de OSV

La diferencia de equipo con el que cuenta el departamento de OSV para validar si el componente PCB tiene una falla funcional o no, no es estándar en ninguna de las etapas de determinación, realizar una estandarización llevo a un costo de equipo para el departamento de OSV fue de aproximadamente \$30,000 USD como se muestra en la figura 16.

6. COST AND BENEFIT ANALYSIS		
The below table captures the costs that this project will incur upon implementation		
Fixed Costs- Start up	Description	Value (MXN)
Cable & Optic Fiber	Fiber Optic Cables, Copper Cable Cat-6, Polyduct Conduit	\$ 246,176.30
IT Miscellaneous	Stainless Steel Wire, Wire Rope Grips, Ties	\$ 8,300.00
Network Infrastructure	Cabinets, Port Connectors, Port Faceplates, Rack Mount Cabinet, Patch Panel	\$ 95,228.46
Test Infrastructure	Power Manager, Display Port Cable	\$ 46,140.11
Equipment	DL380 Gen10 server with spare parts	\$ 184,380.27
Total		\$ 580,225.14

Figura 16 Costo por cada departamento presentado a miembros del Staff para autorización de gastos para igualar equipo en Reparación, MRB y OSV.

Pruebas de Normalidad a Variables Antes de los Cambios

En las figuras 17, 18 y 19 se muestra respectivamente la prueba de normalidad realizada a los datos de la muestra calculada del año 2020 antes de la implementación de los cambios en el departamento de reparación de producción, en donde se identifica como la variable X2 a la determinación por los técnicos de reparación, X3 a la determinación por el departamento de MRB y X4 a la determinación por el departamento de OSV.

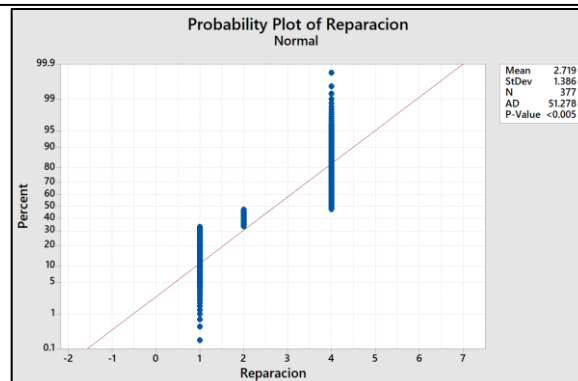


Figura 17 Prueba de Normalidad a variable X2.

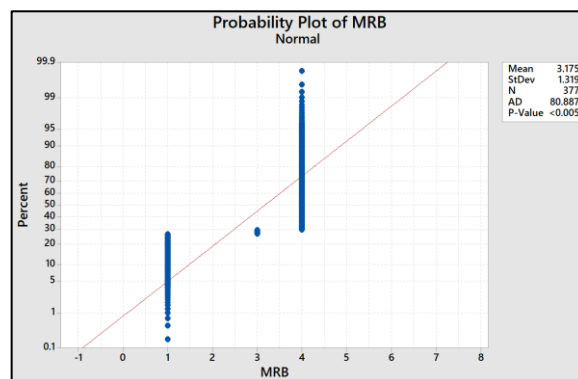


Figura 18 Prueba de Normalidad a variable X3.

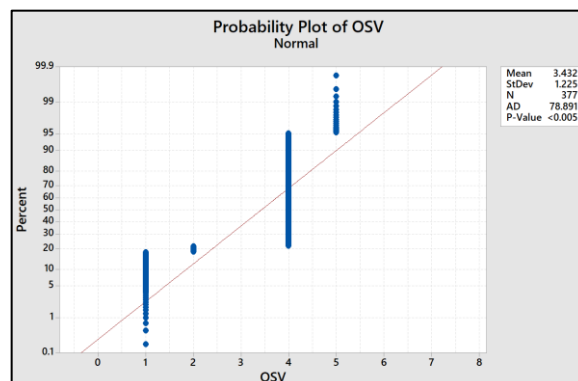


Figura 19 Prueba de Normalidad a variable X4

Debido a que las tres variables las que se pretende analizar no tienen un comportamiento normal, se opta por realizar un coeficiente de correlación de las variables a través de *Spearman Rho*, la cual es una prueba no paramétrica, tal y como se muestra en la figura 20.

Spearman Rho: Reparacion, MRB, OSV

	Reparacion	MRB
MRB	0.824 0.000	
OSV	0.488 0.000	0.610 0.000

Cell Contents: Spearman rho
P-Value

Figura 20 Spearman Rho de las tres variables declaradas.

Se interpreta a través de los valores en resultado matricial, que existe una alta correlación entre Reparación y MRB, en donde se obtuvo un valor nominal de 0.824 en su coeficiente de correlación. Entre Reparación y OSV, en donde se obtuvo un valor nominal de 0.488 en su coeficiente de relación, indica que la relación es más baja en comparación a la medición anterior; por otro lado, entre MRB y OSV, en donde se obtuvo un valor nominal de 0.610 en su coeficiente de correlación.

En concreto, la interpretación de los anteriores datos se puede expresar de la siguiente manera: Existe una relación directa entre las tres variables, que son los diferentes departamentos que participan en la determinación de funcionalidad del componente PCB, a pesar de que entre las variables el coeficiente de relación es significativamente diferente, tiene fundamento en los hallazgos encontrados durante la interpretación y se analizaran después de aplicar cambios a procesos, métodos y equipo.

Pruebas de Normalidad a Variables Después de los Cambios

En las figuras 21, 22 y 23 se muestra respectivamente la prueba de normalidad realizada a los datos de la muestra calculada del año 2020 antes de la implementación de los cambios en el departamento de reparación de producción, en donde se identifica como la variable X2 a la determinación por los técnicos de reparación, X3 a la determinación por el departamento de MRB y X4 a la determinación por el departamento de OSV, lo anterior en virtud de aplicar cambios a los procesos, métodos y equipo con el que se valida la determinación del componente PCB.

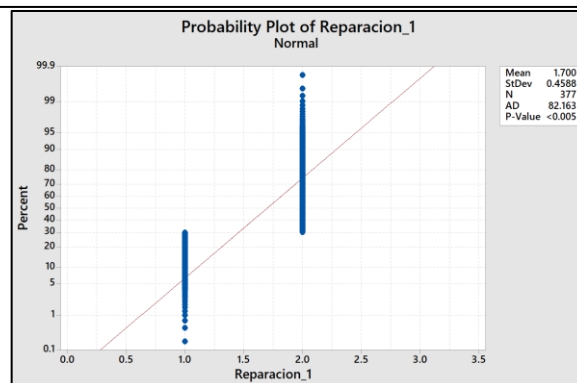


Figura 21 Prueba de Normalidad a variable X6.

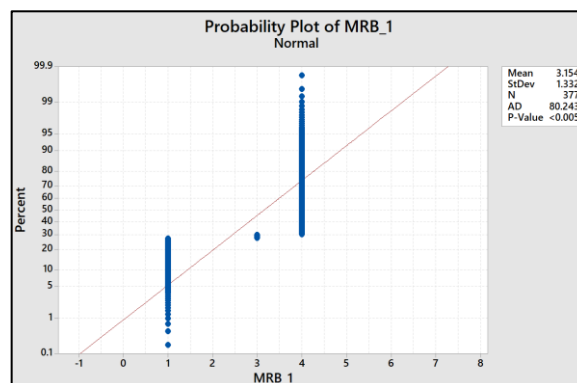


Figura 22 Prueba de Normalidad a variable X7.

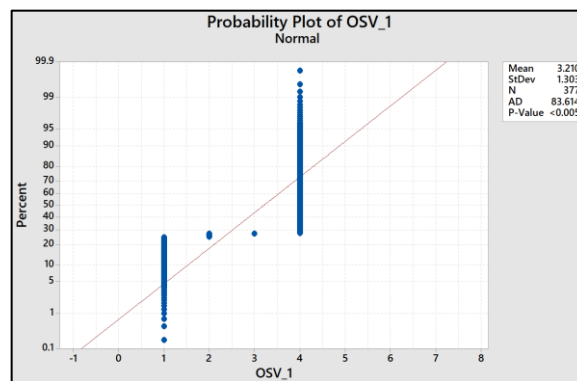


Figura 23 Prueba de Normalidad a variable X8.

Dado que antes de los cambios también se encontró que las variables no tenían una distribución normal, las tres variables que se pretende analizar no tienen un comportamiento normal, se opta por realizar un coeficiente de correlación de las variables a través de Spearman Rho, tal y como se muestra en la figura 24.

Spearman Rho: Reparacion_1, MRB_1, OSV_1

	Reparacion_1	MRB_1
MRB_1	0.995	
	0.000	
OSV_1	0.933	0.963
	0.000	0.000

Cell Contents: Spearman rho
P-Value

Figura 24 Spearman Rho de las tres variables declaradas.

Se interpreta a través de los valores en resultado matricial, que existe una alta correlación entre Reparación y MRB, en donde se obtuvo un valor nominal de 0.995 en su coeficiente de relación. Entre Reparación y OSV, en donde se obtuvo un valor nominal de 0.933 en su coeficiente de relación, indica que la relación es más baja en comparación a la medición anterior; por otro lado, entre MRB y OSV, en donde se obtuvo un valor nominal de 0.963 en su coeficiente de relación.

En concreto, la interpretación de los anteriores datos se puede expresar de la siguiente manera: Existe una relación fuerte y directa entre las tres variables, que son los diferentes departamentos que participan en la determinación de funcionalidad del componente PCB, en comparación a antes de aplicar cambios a procesos, métodos y equipo, ahora que principalmente su equipo se encuentra estandarizado, existen buenas prácticas y estandarización en la documentación.

CONCLUSIONES

En la figura 25 se muestra el desempeño de los DPPM en su porción de NFF después de realizar cambios en procesos, métodos y equipo de comprobación de componente PCB, con virtud de las hipótesis planteadas en esta investigación, se concluye que, haber realizado mejoras en las herramientas de comprobación de los técnicos de reparación de producción, realizar documentación adecuada, sin cambios en las determinaciones de DPPM por ninguno de los departamentos, la documentación adecuada de las acciones de reparación y como estandarización crítica para cumplir con el mismo ambiente de prueba y validación durante la comprobación de falla funcional en el componente PCB se implementó el mismo equipo de prueba, con las mismas características físicas y técnicas, tiene un impacto de manera positiva para la Organización ABC en el métrico DPPM en su porción NFF en todos los puntos en donde se participa para la clasificación de DPPM del componente PCB.

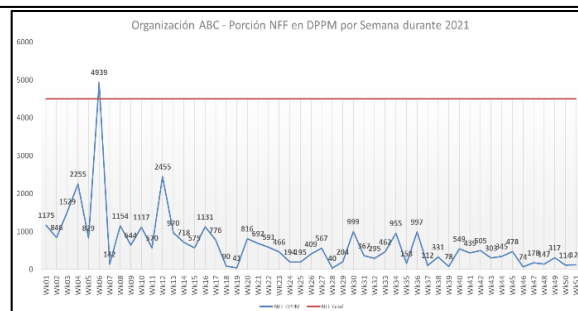


Figura 25 Desempeño de DPPM en porción NFF de Organización ABC.

RECOMENDACIONES

Se extienden las siguientes recomendaciones a la Organización ABC con el fin de seguir cumpliendo con el métrico de DPPM en su porción NFF, se recomienda mantener el uso de la metodología DMAIC y extenderlo más allá de las delimitaciones de esta investigación, aplicándola para todas las unidades de negocio que competen en la Organización ABC, la periodicidad sugerida para revisión de posibles cambios en los métodos establecidos es una junta cada tres meses, con el fin de al menos contar con cuatro revisiones al año en presencia de al menos un representante del equipo multidisciplinario relacionado principalmente con el métrico DPPM; Producción, Reparación, Ingeniería de Producto y Calidad. La recomendación de utilizar la metodología DMAIC esta sugerida únicamente para el seguimiento apropiado de la determinación del componente PCB y no como un método absoluto para los distintos roles y/o responsabilidades que los distintos empleados podrían tener.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento al Dr. Francisco Zorrilla por su guía, comprensión, paciencia y experiencia compartida durante todo el desarrollo de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sarabia A. (1995), LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS.
- [2] Alonso Tamayo Alzate (1999), TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS.
- [3] Lorenzon, E. E. (2020) Sistemas y organizaciones.
- [4] T. Ohno, El sistema de producción Toyota: más allá de la producción a gran escala. Barcelona: Gestión 2000, 1991.
- [5] Recuperado de: <https://www.cemiot.com/inicio/las-9-eses-organizacion-orden-y-limpieza-en-la-empresa/>.
- [6] Paredes-Rodríguez, A. M. (2017). Aplicación de la herramienta Value Stream Mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio.
- [7] Nash, Mark y Poling Sheila. (2008) Mapping the Total Value Stream.
- [8] Lopez, G. (2001). Metodología six-sigma: Calidad Industrial. Baja California, Mexico.

- [9]Baldemar, J., & Abrego, R. (2015). Reducción y control de costos en empresa de manufactura con seis sigma. Mexico.
- [10] Jeroen de Mast, Joran Lokkerbol (2012). An analysis of the Six Sigma *DMAIC* method from the perspective of problem solving.
- [11] Egas A., D. A. (2017). Proyecto de Disminución de Desperdicios en el Proceso Productivo de las Máquinas Generadoras en la Planta Proquinal S.A. Colombia, Utilizando la Metodología *DMAIC*.
- [12] Haiyu Qi *, Sanka Ganesan 1, Michael Pecht (2008). No-fault-found and intermittent failures in electronic products.
- [13] P. Söderholm / Reliability Engineering and System Safety 92 (2007) 1–14
- [14] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.
- [15]Recuperado de:
<https://www.westgard.com/mltirule.htm>.

ROLES DE CONTRIBUCIÓN

Rol	Autor (es)
Conceptualización Curación de datos	Ing. Roberto Israel Aguirre Aguayo MIA. Lizette Alvarado Tarango
Metodología Administración del proyecto Recursos Software Supervisión Visualización	Ing. Roberto Israel Aguirre Aguayo Dr. Francisco Zorrilla Briones
Validación	Dra. Luz Elena Terrazas Mata
Redacción	Ing. Roberto Israel Aguirre Aguayo Dr. Francisco Zorrilla Briones



Esta obra está bajo
 una licencia internacional
 Creative Commons Atribución 4.0.