

**Caracterización de los factores claves de confiabilidad estadística
para una empresa manufacturera a partir del análisis de las
reclamaciones por garantía de la calidad**



Presentado por
Orlando Valencia Rodríguez

LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Fundación Universitaria Los Libertadores
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas
Especialización en Estadística Aplicada
Bogotá D.C, Colombia
2018

Caracterización de los factores claves de confiabilidad estadística para una empresa manufacturera a partir del análisis de las reclamaciones por garantía de la calidad

Presentado por
Orlando Valencia Rodríguez

LOS LIBERTADORES

en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar al título

Especialista en Estadística Aplicada

en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar al título

Asesora temática

Jessica Ximena Moreno Cortés

Asesora metodológica

Adriana Patricia Gallego Torres

Fundación Universitaria Los Libertadores

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Especialización en Estadística Aplicada

Bogotá D.C., Colombia

2018

Notas de aceptación



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Las directivas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores y a los resultados de su trabajo.

Contenido

INTRODUCCION.....	7
Planteamiento del Problema	8
Objetivos.....	8
Objetivo General	8
Objetivos Específicos.....	8
Justificación.....	9
MARCO TEÓRICO	10
Confiabilidad	11
Conceptos relacionados.....	13
El estudio de confiabilidad.....	15
Mejoramiento de la confiabilidad	16
La gestión de la calidad.....	17
Concepto de calidad.....	18
Herramientas de la calidad.....	20
METODOLOGIA.....	23
RESULTADOS Y ANALISIS	25
Análisis descriptivo.....	26
Cartas de control.....	29
Carta de la media basada en el rango para el producto 1	30
Carta de la desviación estándar para el producto 1	31
Carta de la media basada en el rango para el producto 2.....	32
Carta de la desviación estándar para el producto 2	33
Carta de la media basada en el rango para el producto 3.....	34
Carta de la desviación estándar para el producto 3	35
Carta de la media basada en el rango para el producto 4.....	36
Carta de la desviación estándar para el producto 4	37
Cartas EWMA.....	38
Carta Ewma para el Producto 1	39
Carta Ewma para el Producto 2.....	40
Carta Ewma para el Producto 3.....	40
Carta Ewma para el Producto 4.....	41
Análisis de confiabilidad	42
ACCIONES DE MEJORAMIENTO.....	52
CONCLUSIONES	53
REFERENCIAS	55

Índice de Gráficos

Figura 1. Concepto de confiabilidad estadística. Fuente: elaboración propia	11
Figura 2. Representación gráfica de la confiabilidad. Fuente: elaboración propia	12
Figura 3. Términos relacionados con la confiabilidad. Fuente: elaboración propia.....	13
Figura 4. Indicadores de la confiabilidad. Fuente: elaboración propia	14
Figura 5. Mejoramiento de la confiabilidad. Fuente: elaboración propia	16
Figura 6. Características de calidad frente a los requisitos y expectativas. Fuente: elaboración propia	18
Figura 7. Diagrama circular (a), de barras (b), de línea (c) y de Pareto (d). Fuente: elaboración propia	21
Figura 8. Histograma de frecuencias. Fuente: elaboración propia.....	22
Figura 9. Proceso metodológico. Fuente: elaboración propia.....	24
Figura 10. Principales componentes de falla por productos (P1, P2, P3 Y P4). Fuente: elaboración propia	26
Figura 11. Principales componentes de falla de P1. Fuente: elaboración propia.....	27
Figura 12. Principales componentes de falla de P2. Fuente: elaboración propia.....	28
Figura 13. Principales componentes de falla de P3. Fuente: elaboración propia.....	28
Figura 14. Principales componentes de falla de P4. Fuente: elaboración propia.....	29
Figura 15. Carta de la media basada en el rango para P1. Fuente: elaboración propia	31
Figura 16. Carta de la desviación estándar para P1. Fuente: elaboración propia.....	32
Figura 17. Carta de la media basada en el rango para P2. Fuente: elaboración propia	33
Figura 18. Carta de la desviación estándar para P2. Fuente: elaboración propia.....	34
Figura 19. Carta de la media basada en el rango para P3. Fuente: elaboración propia	35
Figura 20. Carta de la desviación estándar para P3. Fuente: elaboración propia.....	36
Figura 21. Carta de la media basada en el rango para P4. Fuente: elaboración propia	37
Figura 22. Carta de la desviación estándar para P4. Fuente: elaboración propia.....	38
Figura 23. Carta EWMA para P1. Fuente: elaboración propia.....	39
Figura 24. Carta EWMA para P2. Fuente: elaboración propia.....	40
Figura 25. Carta EWMA para P3. Fuente: elaboración propia.....	41
Figura 26. Carta EWMA para P4. Fuente: elaboración propia.....	42
Figura 27. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P1. Fuente: elaboración propia	45
Figura 28. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P2. Fuente: elaboración propia	47
Figura 29. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P3. Fuente: elaboración propia	49
Figura 30. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P3. Fuente: elaboración propia	51

Índice de Tablas

Tabla 1. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P1. Fuente: elaboración propia	44
Tabla 2. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P2. Fuente: elaboración propia	46
Tabla 3. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P3. Fuente: elaboración propia	48
Tabla 4. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P4. Fuente: elaboración propia	50
Tabla 5. Comparación de la función de confiabilidad y tasa de falla para los cuatros productos. Fuente: elaboración propia	51

INTRODUCCION

En las empresas se genera gran cantidad de información, pero generalmente no es aprovechada adecuadamente como insumo para la toma de decisiones. Tal es el caso, de la información proveniente de los clientes a través de los centros de servicio autorizados para la atención de peticiones, quejas, reclamos y otros. Esta información se consolida en bases de datos que sirven para hacer un registro y control estadístico, sin embargo, no se va más allá.

Precisamente, en el presente trabajo se analiza la base de datos de reclamaciones de los clientes por garantía de calidad de una empresa manufacturera. En este sentido, se pretende caracterizar la información allí consignada consolidando los aspectos claves desde el punto de vista de la confiabilidad estadística, que permitan el establecimiento de acciones de mejoramiento. Se inicia con la descripción de la base de datos, el análisis estadístico utilizando herramientas como el Pareto, las cartas de control y distribuciones de probabilidad. A partir de estos análisis se seleccionan los aspectos más críticos para el producto, se definen criterios de control y se finaliza con el planteamiento de acciones de mejoramiento para la empresa manufacturera analizada.

Inicialmente, se realiza una contextualización del tema a tratar, su importancia, el planteamiento del problema, su justificación y la pregunta de investigación. En el primer capítulo se presenta lo relacionado con la confiabilidad estadística, conceptos, indicadores y pasos de un estudio de confiabilidad. También comprende los elementos conceptuales de la calidad y herramientas de la calidad aplicables en el estudio de confiabilidad. En un segundo capítulo se establece el marco metodológico en el cual se describen los pasos definidos para hacer el análisis estadístico y tratamiento de los datos. En el tercer capítulo se muestran el análisis realizado y los resultados obtenidos. Finalmente se establecen las conclusiones y las recomendaciones con base en el trabajo realizado.

Planteamiento del Problema

Las empresas en Colombia, ha implementado en sus páginas web, servicios de atención al cliente, donde los usuarios pueden interponer, peticiones, quejas y reclamos. A partir de esto, el trabajo de investigación se centró en la necesidad de utilizar éstos datos, para poder implementar en un proceso de calidad a través de la información recolectada por medio de esta base de datos. De esta forma, se tiene una empresa de manufactura en la cual se llevan a cabo programas de calidad que la han posicionado en el mercado nacional, sin embargo, en el marco de sus políticas de mejoramiento está interesada en hacer un análisis de la base de datos de reclamaciones de los clientes por garantía de la calidad. La empresa considera que posee una información valiosa que está siendo subutilizada y a partir de la cual, se podrían hacer análisis estadísticos y de confiabilidad, que permitan caracterizar la situación actual en cuanto a esta temática de interés para la empresa.

Los resultados obtenidos pueden utilizarse para tomar decisiones informadas que permitan influir en diferentes fases del proceso productivo, incluso, desde el diseño mismo de los productos. Con base en lo anterior se plantea el siguiente interrogante:

¿Cómo hacer la caracterización de los factores claves de confiabilidad estadística para una empresa manufacturera a partir del análisis de las reclamaciones por garantía de la calidad?

Objetivos

Para poder responder al problema planteado se formularon los siguientes objetivos

Objetivo General

Caracterizar los factores claves de confiabilidad estadística para una empresa manufacturera a partir del análisis de las reclamaciones por garantía de la calidad

Objetivos Específicos

- Analizar la situación actual de la empresa desde el punto de vista de las reclamaciones por garantía de la calidad

- Identificar las principales características de calidad de los productos de la empresa desde el punto de vista de la confiabilidad estadística
- Determinar los factores claves de confiabilidad estadística que contribuyan al mejoramiento de la calidad de sus productos

Justificación

El mejoramiento de la calidad en las empresas ha sido un aspecto esencial para poder permanecer en un mercado cada vez más competitivo, las empresas no solo tienen que competir con empresas nacionales sino con internacionales debido a la globalización de los mercados (Porter, 2015). Empresas como Amazon, eBay y Mercado Libre venden productos de todo el mundo a través de la internet. Los clientes, cada vez, son más exigentes con la calidad de los productos que compran y esperan que el producto adquirido cumpla a cabalidad con la promesa de la empresa. Esta promesa está asociada con el tiempo prometido de garantía durante el cual se espera que el producto funcione adecuadamente, es decir, se espera que mínimo el producto satisfaga las expectativas del cliente durante dicho tiempo. La imagen y el prestigio de la empresa depende de la calidad de sus productos los cuales deben superar a los de su competencia (Gaitán, 2007)

De igual manera, más allá del factor competitivo y económico se encuentra la responsabilidad legal y social de la empresa con los clientes, los organismos de vigilancia y control y el medio ambiente. La calidad también está asociada con la seguridad del producto, el cumplimiento de normas de tipo legal y técnico y el mínimo impacto posible sobre el medio ambiente. Hoy en día los mercados verdes y los denominados productos verdes, que procuran disminuir los efectos negativos sobre el entorno, empiezan a ser preferidos por la sociedad (Holden, Linnerud y Banister, 2016)

Lo anterior evidencia la necesidad de que la empresa escuche la voz del cliente como parte interesada esencial en la permanencia en el mercado (Gaitán, 2007). Uno de las formas que permite retroalimentar la calidad de los productos son las reclamaciones, es así como en el presente trabajo se lleva a cabo la caracterización de los factores claves de confiabilidad estadística para una empresa manufacturera a partir del análisis de las reclamaciones por garantía de la calidad y la definición de acciones de mejoramiento.

El estudio de las reclamaciones permitirá caracterizar los factores claves de

confiabilidad estadística, identificar los tipos de fallas que se presentan, cuáles son las fallas más representativas y otros aspectos de interés de la confiabilidad estadística, a partir de los cuales se plantearán acciones de mejora que contribuyan a la calidad de los productos actuando sobre las debilidades encontradas (Alegría, 2015). La industria puede cumplir estos objetivos es mediante la optimización de recursos, la inversión en infraestructura y tecnología y mejorando la calidad de sus productos (Miño, 2016).

El estudio de confiabilidad estadística, que es muy incipiente en las organizaciones (Burgos y Lobelo, 2008) permite documentar algunos aspectos de los productos relacionados con sus características y estado de operación que en algunos casos es posible anticiparse, probabilísticamente, a la falla, y con ello prever daños que a futuro ocasionarían pérdidas que se reflejarían en los costos de no calidad (Tasama y Gómez, 2008), es decir, aquellos costos que se dan por defectos o situaciones sobre los que no se actuó oportunamente y sobre los cuales se podría tener un mejor control.

MARCO TEÓRICO

La evolución de las empresas ha pasado por diferentes etapas durante las cuales las prioridades han ido cambiando, sin embargo, algo que ha permanecido son los constantes esfuerzos por permanecer en el mercado, logrando los niveles de rentabilidad deseados que les permita hacer nuevas inversiones, fortalecer su posición en el mercado, crecer en el tiempo y generar dividendos para sus accionistas (Hart y Milstein, 2003).

Entre las diferentes estrategias utilizadas para lograr estos objetivos, está la gestión de la calidad de sus productos. Este es un factor diferenciador y que depende del talento humano que conforma la organización, de las técnicas y procedimientos que utilicen, de la maquinaria y tecnología empleada y de las materias primas empleadas en los procesos de fabricación. Todos estos aspectos deben ser monitoreados y evaluados adecuadamente con el fin de retroalimentarlos y mantener procesos de mejoramiento continuo que permitan la innovación y la reinención de la empresa y de sus productos continuamente (Reyes et al., 2013).

La información que realimenta estos procesos se produce interna y externamente. En cuanto a esta última, una de las principales fuentes son las bases de datos donde se llevan los registros de reclamaciones por garantía de la calidad de los productos. Estas bases de datos, dependiendo del nivel de complejidad, pueden contener información

relacionada con el tipo de fallas y componentes afectados, al igual que el registro de algunas fechas que permiten establecer los tiempos de falla y tiempos de reparación (Gaitán, 2007). El análisis de estas reclamaciones puede llevarse a cabo mediante un estudio de confiabilidad que está estrechamente relacionado con el tema de calidad de los productos.

Confiabilidad

La confiabilidad puede ser definida como la “confianza que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es la probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas” (Mesa, Ortiz y Pinzón, 2006, p. 156). De acuerdo a lo anterior la confiabilidad estadística se define como (Figura 1) la probabilidad de que un componente pueda cumplir la función para el cual fue diseñado bajo las condiciones establecidas durante el tiempo indicado hasta que se produzca una falla (Escobar et al. 2003; Mesa et al., 2006; Olivera, 2008; Tasama et al., 2009; Reyes et al., 2013; Sueiro, 2014; Viveros et al., 2016)



Figura 1. Concepto de confiabilidad estadística. Fuente: elaboración propia

A partir de este concepto, se puede analizar varios aspectos que permiten una mejor comprensión del mismo. La confiabilidad es una medida que se obtiene en términos de probabilidad por lo tanto es una estimación que se hace y no un valor absoluto. El término componente hace alusión a un producto, parte de un producto, una máquina u

otro elemento para el cual se puedan establecer mediciones de confiabilidad. Una característica importante de este componente es su reparabilidad, es decir, al no haber podido realizar una o más de sus funciones de manera satisfactoria, se puede restaurar su rendimiento por cualquier método que no sea el reemplazo de todo el sistema (Ascher y Feingold, 1984). Puede ser objeto de reparación y puesto nuevamente en funcionamiento en condiciones iguales, mejores o menores al estado en el que se encontraba en el momento que se produjo la falla.

Se habla de condiciones establecidas ya que un componente se fabrica y podrá funcionar adecuadamente bajo unas condiciones previas para las cuales fue diseñado. Si estas condiciones se modifican el componente podría alterarse y dejar de funcionar adecuadamente. En ese caso la confiabilidad ya no aplica porque se le puede estar dando un manejo que no corresponde a su propósito inicial. La confiabilidad de un componente disminuye con el paso del tiempo (Figura 2) esto debido al desgaste y deterioro que sufre por su uso. Un producto nuevo tiene una confiabilidad del 100% o 1 en términos absolutos. Al final de su vida útil su confiabilidad es de 0, esto significa que ya falló y deja de cumplir satisfactoriamente el fin para el cual fue diseñado.

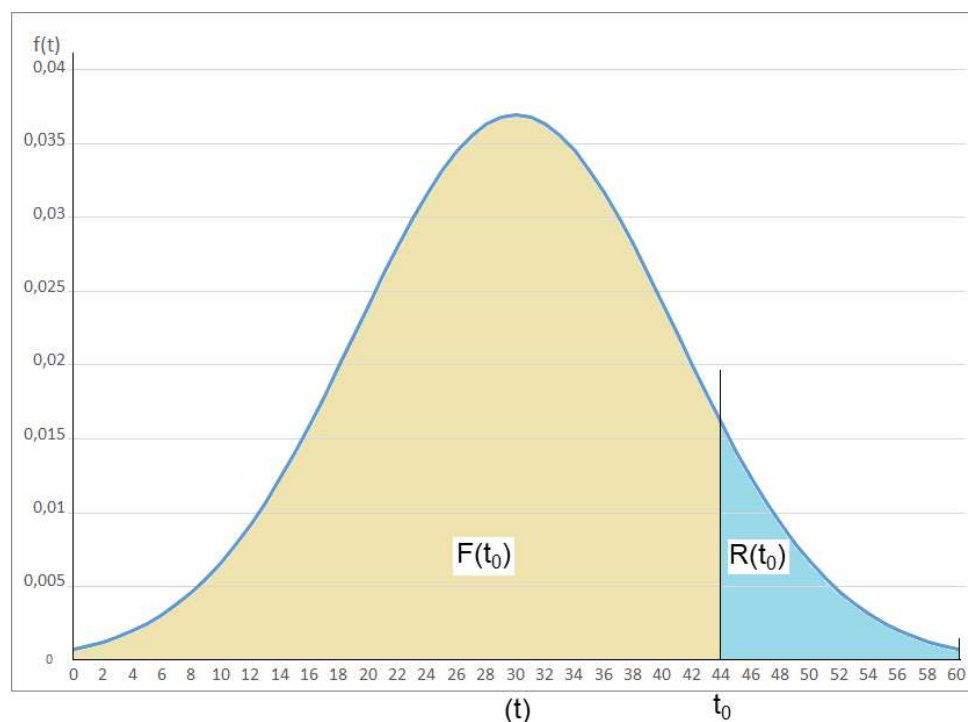


Figura 2. Representación gráfica de la confiabilidad. Fuente: elaboración propia

Conceptos relacionados

Asociados con la confiabilidad se encuentran algunos conceptos que son necesarios tenerlos claros para comprender mejor la temática objeto de estudio (Figura 3). Se habla de ingeniería de la confiabilidad cuando se pretende extraer información un poco más detallada de las características de un componente a partir de las cuales se pueda influir en el diseño de los siguientes componentes.

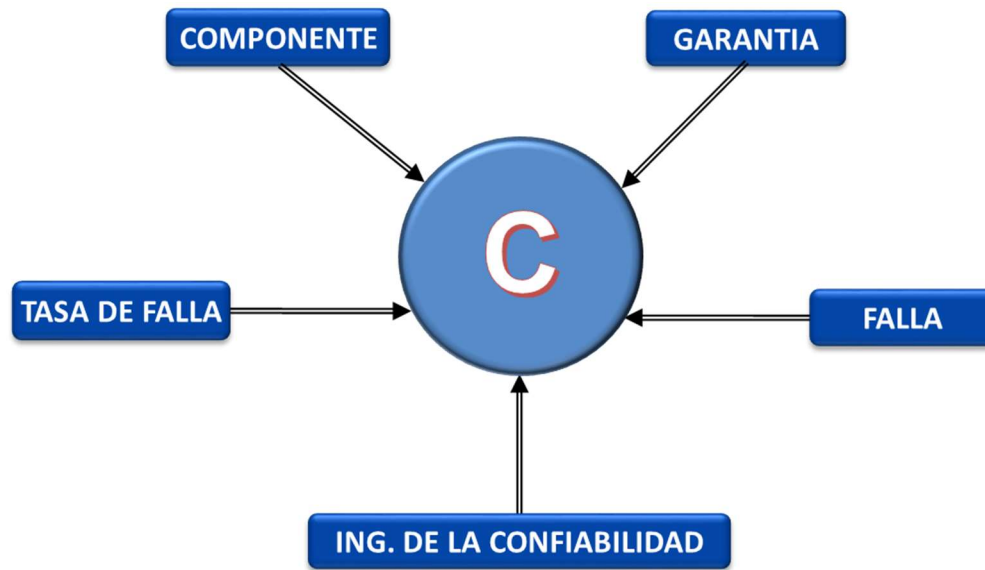


Figura 3. Términos relacionados con la confiabilidad. Fuente: elaboración propia

Como se mencionó anteriormente un componente hace referencia a un producto, parte de un producto, una máquina u otro elemento para el cual se puedan establecer mediciones de confiabilidad. En este caso se trata de productos que son reparables, esto significa que después de fallar se puede reparar, sin embargo, la confiabilidad del producto se da hasta cuando se produzca la primera falla (Zapata, 2002). A partir de allí se realizan análisis de fallas sucesivas.

La garantía de un producto se refiere al respaldo que brinda la empresa especialmente en el tiempo considerado de esa forma (Obando y Yañez, 2005). La empresa fabricante se hace responsable de la reparación o cambio del producto, incluso la devolución del dinero si el producto no cumple satisfactoriamente con los requerimientos del cliente a causa de fallas de mal funcionamiento. Estas fallas han de deberse a causas naturales de funcionamiento de los componentes bajo las condiciones de operación indicadas. Si las instrucciones de operación son desatendidas o se realizan en condiciones que no corresponde al componente, entonces se puede perder la garantía del producto.

Con respecto a las fallas es toda situación que causa el mal funcionamiento del producto. Se tiene en cuenta las denominadas fallas feas que básicamente son de la operación o funcionamiento. Las otras fallas, las que son de tipo estético no son objeto de análisis, aunque también pueden tener un impacto importante en la empresa (Uparela, 2013).

Otro importante concepto es la tasa de falla la cual estima la proporción de productos fallados con respecto al total de productos que se encuentra en el mercado en garantía de la calidad.

La confiabilidad se puede medir a través de diferentes indicadores (Figura 4) entre los que sobresalen la vida media, la indisponibilidad, la seguridad, la frecuencia de fallas al año y el endurance.

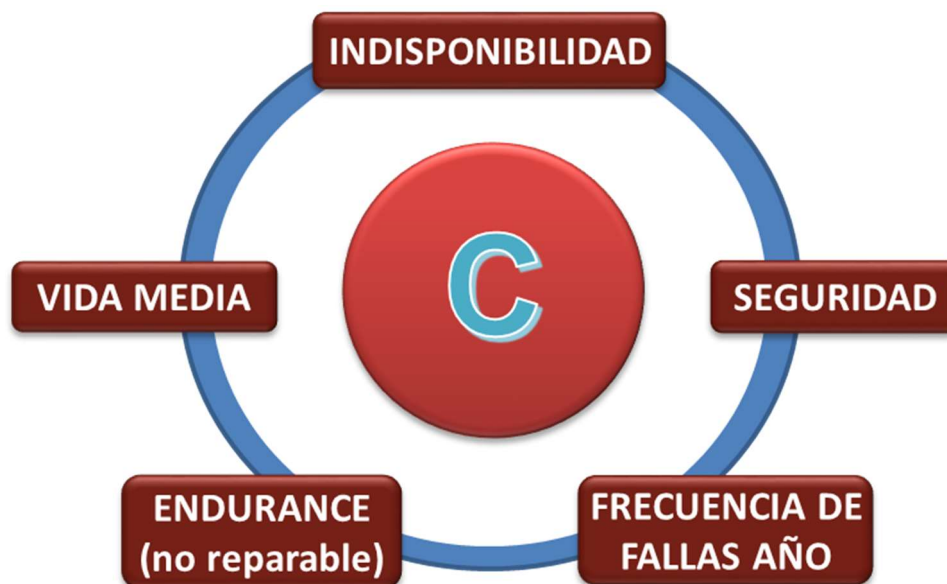


Figura 4. Indicadores de la confiabilidad. Fuente: elaboración propia

La vida media, como su nombre lo indica es el tiempo promedio de duración del producto funcionando bajo las condiciones para el cual fue diseñado, de esta forma, es un valor de referencia importante para la toma de decisiones, entre ellas, el tiempo máximo de garantía que se puede ofrecer para los productos (Reyes, 2013). La seguridad es otro aspecto esencial en la confiabilidad y calidad de un producto ya que puede generar grandes pérdidas económicas frente a daños en terceros (Ossa, 2013), en este sentido, el diseño y funcionamiento del producto debe minimizar los riesgos que implican su uso y manipulación.

En cuanto al endurance, este se refiere al número de veces que puede funcionar un producto hasta que falle. Cuando se presenta la falla el producto deja de operar definitivamente y finaliza su vida útil. Esto se da para componentes que no son reparables (Ramírez, 2014; Zapata 2002; Viveros, 2016). La indisponibilidad corresponde al tiempo total en que efectivamente se puede hacer uso del producto, el cual no corresponde al 100% debido a las fallas que se presentan (Uparela, 2013). Finalmente, con respecto a la frecuencia de fallas al año, se estima con base en la cantidad de productos que falla sobre el total de productos que se encuentran en tiempo de garantía en el mercado (Garcés et al., 2008).

El estudio de confiabilidad

Un estudio de confiabilidad se puede abordar desde diferentes puntos de vista. Por ejemplo, en el caso de análisis de componentes críticos en (Rodríguez et al., 2014) se plantea los siguientes aspectos: selección de la muestra mínima, recoger la información de las variables aleatorias, aplicar la Ley de Pareto para determinar los fallos críticos, representación tabular de los datos, cálculo de la frecuencia teóricas, cálculo de la diferencia entre la función de distribución teórica y la función experimental para el ajuste de curva, determinación del intervalo de confianza.

En primera instancia se hace necesario definir claramente la problemática que se va a analizar, estableciendo sus límites y alcances. En este sentido se determina si el tema de confiabilidad realmente aplica a la situación propuesta, si se incorporan herramientas complementarias o definitivamente puede ser más apropiado otro tipo de análisis. Al concretarse que la confiabilidad es el camino indicado se debe identificar las fuentes de información, las bases de datos y los registros que se poseen a partir de los cuales se alimentará el estudio. De igual manera, se plantean los mecanismos para obtener la información adicional que se requiera o la obtención total de la misma por carencia de información previa sobre el asunto (Ramírez, 2014).

Las fuentes de información deben ser depuradas y organizadas para poder proceder al análisis estadístico mediante las herramientas seleccionadas. De acuerdo al propósito del estudio y la información disponible se podrán obtener indicadores relacionados con la confiabilidad y definir los factores claves que pueden contribuir al mejoramiento de la calidad mediante acciones de intervención de acuerdo a los elementos críticos detectados. Si el estudio tiene un alcance práctico de implantación, entonces estas se

llevarán a cabo las propuestas, las cuales serán objeto de monitoreo y se evaluará el impacto que ellas tengan en las dificultades detectadas con anterioridad. Con base en ello, se podrán estandarizar los procesos, procedimientos y productos intervenidos, de lo contrario se repite el ciclo, identificando los nuevos factores claves de confiabilidad y el planteamiento de nuevas propuestas hasta que se pueda estabilizar el sistema (Alegria, 2015)

Mejoramiento de la confiabilidad

La confiabilidad de un componente se puede mejorar mediante dos formas (Figura 5). La primera de ellas es a través de la calidad, esto significa que si un producto cumple con los requisitos de fabricación y uso estará en capacidad desempeñar satisfactoriamente la función para la cual fue diseñado. Para lograr esto, las materias primas, insumos, procesos, talento humano, instalaciones, maquinaria y equipo cumple con las condiciones de calidad definidas por la organización. Para aumentar la confiabilidad se podrán exigir mayores niveles de desempeño en los diferentes factores de producción, por ejemplo, utilizar materias primas de mayor calidad o emplear maquinaria y equipo con mayor desarrollo tecnológico. Estas acciones de mejoramiento de la calidad dependen de los aspectos que estén afectando la confiabilidad.

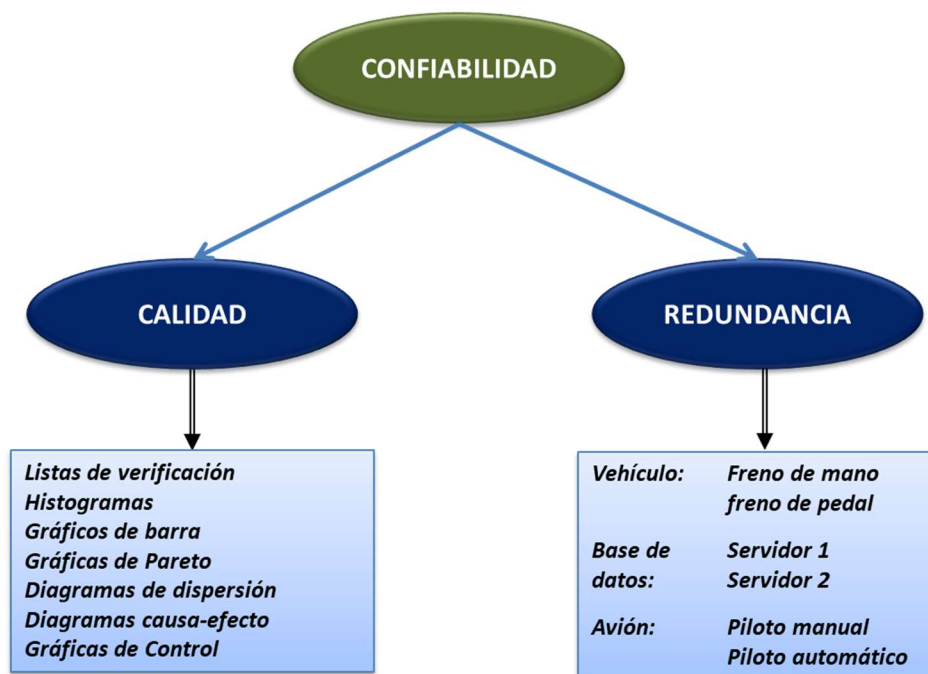


Figura 5. Mejoramiento de la confiabilidad. Fuente: elaboración propia

De otro lado, la redundancia es otra forma de aumentar la confiabilidad del producto.

Esta consiste en agregar componentes que desempeñan funciones paralelas o duplicadas y que actúan en caso de que falle alguna de las dos o lo hacen de manera simultánea. Por ejemplo, en el caso de los paracaídas que de cuya confiabilidad depende la vida de quien lo usa, tienen mecanismos de seguridad, entre ellos, el paracaídas de emergencia que se activa como respaldo en caso de falla del principal (Mostafa y Hamadani, 2014).

El mejoramiento de la confiabilidad basada en la calidad es la modalidad de interés para el presente estudio, por lo tanto, a continuación, se presentan los elementos más relevantes relacionados con esta temática (Villegas, et al, 2018).

La gestión de la calidad

La gestión de la calidad y el control estadístico de la calidad se hacen necesarios debido a la variación que se presenta en todo proceso de fabricación. Dos componentes no serán exactamente iguales porque existen muchos factores que intervienen en su producción, si fueran iguales sería la misma pieza. Aunque la igualdad no se puede lograr, se trata de reducir la variabilidad y que las especificaciones de los productos estén dentro de rangos permisibles y aceptables de calidad. “La empresa debe generar beneficios al corto, medio y largo plazo, y para ello, debe satisfacer requerimientos de calidad de productos y servicios a los usuarios de los mismos, entendiendo por calidad a las propiedades de una cosa, que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que cualquier otra de su misma especie. Este concepto es aplicable tanto a un producto, servicio, proceso o sistema (Sueiro, 2014,).

La gestión de la calidad pretende garantizar que los productos y servicios se fabriquen y se presten bajo ciertos niveles que satisfagan las expectativas de los clientes. No se trata de fabricar el mejor producto posible, sino que él requiere cada tipo de cliente, de acuerdo a las necesidades y el valor económico que esté dispuesto a pagar. Además, de las condiciones de seguridad para el cliente, su entorno y con mínimo impacto negativo en el medio ambiente (Burgos, 2008).

Las especificaciones a cumplir deben corresponder a las exigencias técnicas, legales, funcionales y estéticas para las cuales es diseñado el producto o el servicio según corresponda (Figura 6). Un producto que supere excesivamente las expectativas del cliente puede ser muy costoso lo que sería contraproducente para la empresa en cuanto a ventas, si el mercado objetivo no tiene la debida capacidad de pago. De otro lado, si

las características de calidad están por debajo de sus exigencias también puede presentarse una disminución por la no aceptación del producto. Es así que debe tenerse muy claro lo producido con lo deseado (Gutiérrez, 2001).

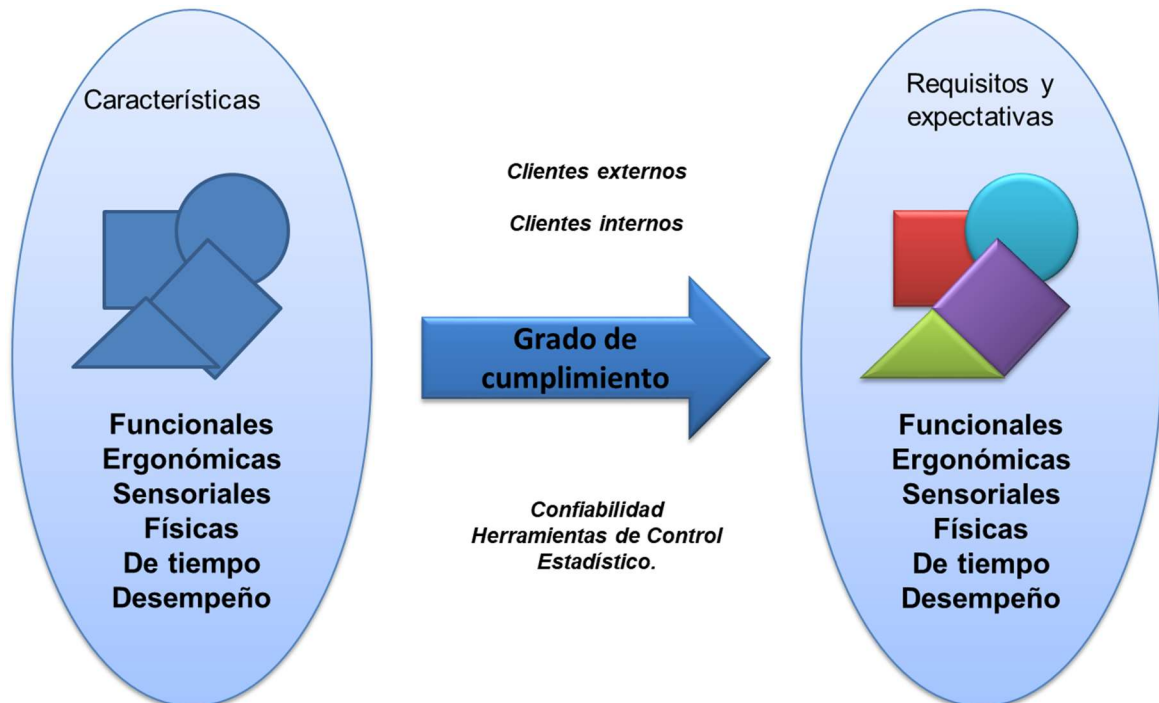


Figura 6. Características de calidad frente a los requisitos y expectativas. Fuente: elaboración propia

Otro aspecto interesante es la capacidad de la empresa de mantener y mejorar los niveles de calidad a través del tiempo, es decir, que la buena calidad no sea la excepción o un caso fortuito o por temporadas, sino que se pueda conservar en el largo plazo y ajustar de acuerdo a las condiciones cambiantes del entorno. Existen casos donde los negocios pequeños tienen altos estándares de calidad, pero cuando crecen no son capaz de equilibrar los ritmos de producción con la calidad, por el contrario, esta se deteriora lo que conduce a resultados desfavorables. El tamaño de la empresa influye en la complejidad del sistema de calidad, “el número de personas que una organización emplea es generalmente proporcional a la magnitud de sus recursos financieros y éstos pueden jugar un importante rol en la implantación de sistemas de gestión de calidad” (Torres, 2008, p. 68)

Concepto de calidad

La calidad se considera como una herramienta para el mejoramiento de los procesos, actividades y productos de una empresa (Gonzales, 2017). Pero a su vez la calidad

también se asume como un conjunto de herramientas orientadas al mejoramiento organizacional. De otro lado, haciendo una alusión a la calidad asociada de forma más directa con los productos o servicios, la calidad es el grado de cumplimiento de las características de un producto o servicio exigidas por los clientes, generalmente, son cualidades o aspectos positivos con respecto a los cuales hay una aceptación objetiva o subjetivas (Gutiérrez, 2001). También se refiere a un estándar o meta que se desea alcanzar.

La concepción de la calidad, a pesar de tener características medibles, existen otra gran cantidad de factores que son de tipo subjetivo lo cual la hace mucho más compleja, ya que se debe tener en cuenta los gustos de las personas, y estos, son tan variables como las personas mismas. En este caso se deben plantear estrategias que permitan acercarse a las necesidades y expectativas de los clientes escuchando sus necesidades a través de la recolección de información como las bases de datos de las reclamaciones. La satisfacción del cliente comprende mayor interacción con ellos y la reducción de la cantidad de quejas (Torres, 2008).

En este mismo contexto algunos perciben la calidad solamente de forma funcional, es decir, que el producto sirva efectivamente para lo que fue diseñado sin prestar mucha atención a los factores estéticos. Para otros, de manera contraria, interesa únicamente los factores estéticos, así otras lo consideren algo inútil. De ahí la importancia de caracterizar adecuadamente los ítems más importantes de calidad para el producto que se esté fabricando. La calidad en los últimos años, ha presentado un cambio de enfoque hacia el mejoramiento del desempeño de un producto, se plantea que la calidad es necesaria pero no suficiente para garantizar una buena confiabilidad, lo que motiva a aplicar conceptos y metodologías que garanticen la calidad a través del tiempo (Zertuche et al., 2012)

De acuerdo con lo anterior se puede indicar que es complejo que un producto logre el 100% de satisfacción de los usuarios, sin embargo, se pueden definir aquellos factores que son claves para el mercado hacia el cual se dirige el producto. Existen elementos objetivos y subjetivos sobre los cuales se deben enfocar los esfuerzos para lograr la calidad deseada. También es importante tener en cuenta que los gustos y expectativas de los clientes cambian, por lo tanto, la calidad de igual forma debe evolucionar.

Herramientas de la calidad

La gestión de la calidad y el control estadístico de la calidad aplican diferentes herramientas orientadas al mejoramiento de la misma, las cuales pueden ser utilizadas en los estudios de la confiabilidad estadística (González, 2017) Entre dichas herramientas se encuentran: el diagrama circular, el diagrama de barras, el diagrama de línea, el diagrama de Pareto, histograma de frecuencias y las cartas de control. Las herramientas básicas de la calidad, pueden ser descritas genéricamente como métodos para la mejora continua y la solución de problemas (Talavera, 2012, p. 2), citado por (López, 2018).

El diagrama circular (Figura 7a), como su nombre lo indica es un círculo dividido en dos o más sectores que se utilizan para representar los valores de una variable. Cada sector construido es proporcional al valor representado con respecto al total. Generalmente se los valores están indicados en porcentaje (Bencardino, 2012)

El diagrama de barras (Figura 7b) es una forma gráfica muy sencilla de representar el comportamiento de una variable cualitativa mediante el cual se pueden visualizar las categorías más sobresalientes de un conjunto de datos analizado. Pueden ser barras simples, compuestas o adyacentes. Su uso depende de lo que se desee mostrar (Bencardino, 2012).

El diagrama de línea (Figura 7c) se usa para representar la tendencia de una o más variables. También existen diferentes formas de presentación. La línea simple se usa para mostrar la relación entre dos variables, una dependiente y otra independiente. Las líneas múltiples se emplean para representar una variable independiente y varias dependientes. En el gráfico de línea compuesto, las variables se acumulan una encima de otra a manera de franjas de diferentes colores que se totalizan en la parte superior. La escala que se utiliza depende de las variables que intervienen pasando por escalas simples directas hasta logarítmicas y exponenciales (Bencardino, 2012).

El diagrama de Pareto (Figura 7d) es un gráfico de barras que organiza en orden de frecuencia decreciente las diferentes categorías de la situación analizada que necesitan mejoramiento. El eje vertical muestra la frecuencia de ocurrencia la cual corresponde a la altura de su barra e indica la importancia de la respectiva categoría, esto permite establecer un orden de prioridad. Se habla de una relación aproximada de 80/20. Esto significa que el 80% de los problemas son debidos al 20% de las causas. Por ejemplo,

en el caso de un producto con respecto al cual se presentan una serie de reclamaciones se podrá establecer que la mayoría de reclamos se deben a las causas más comunes. De esta manera los esfuerzos se podrán concentrar en aquellas causas que son claves para solucionar la mayoría de problemas en una relación aproximada de 80/20 (Gutiérrez y Salazar 2013).

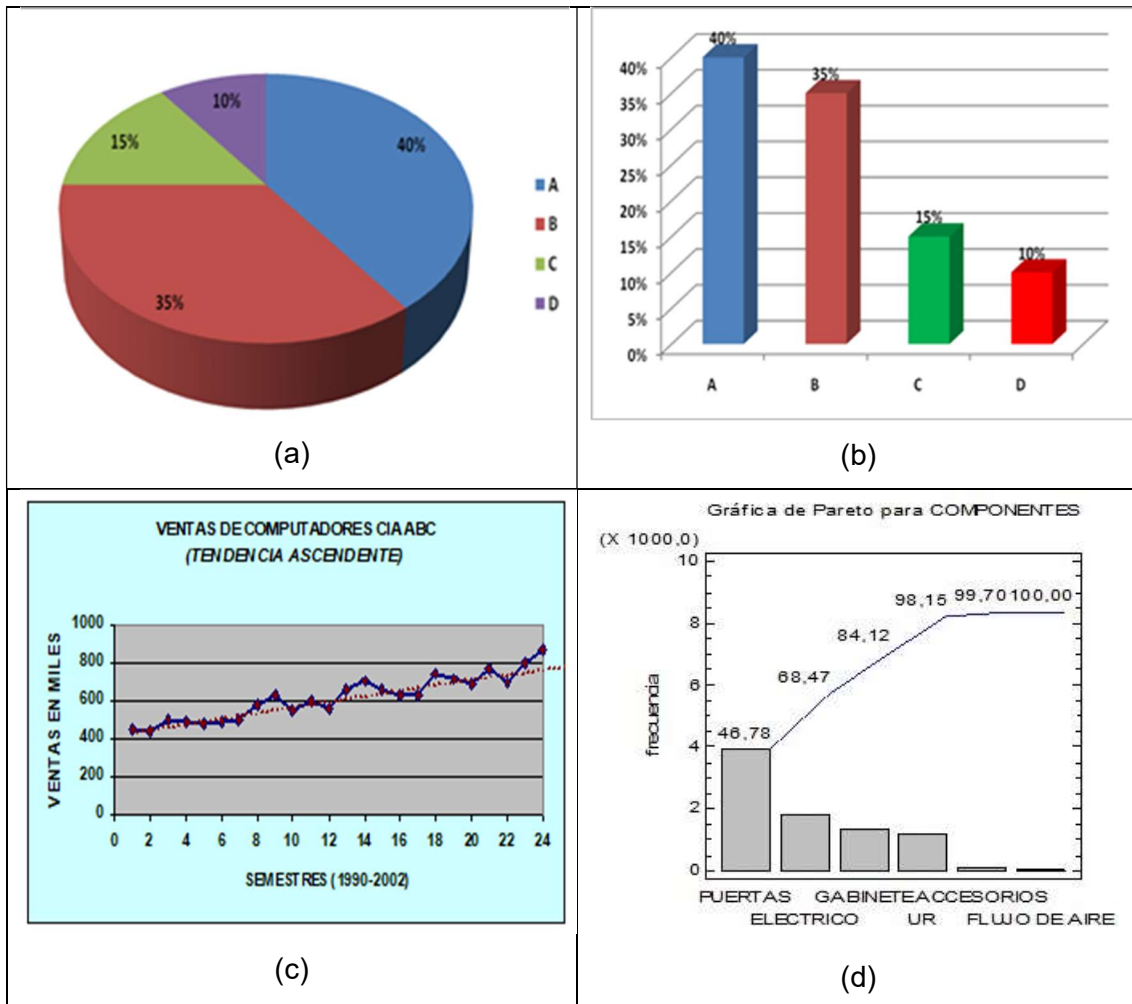


Figura 7. Diagrama circular (a), de barras (b), de línea (c) y de Pareto (d). Fuente: elaboración propia

El histograma de frecuencias (Figura 8) es un gráfico similar al diagrama de barras solo que se emplea para variables cuantitativas la cual se ubica en el eje horizontal comúnmente identificado como X. El histograma permite evaluar la variable objeto de estudio en cuanto a simetría de los datos, concentración o apuntamiento de los datos y dispersión a través del rango medido en desviaciones estándar (Gutiérrez y Salazar 2013). A partir de estos resultados se podrán obtener conclusiones muy interesantes e importantes para el análisis estadístico.

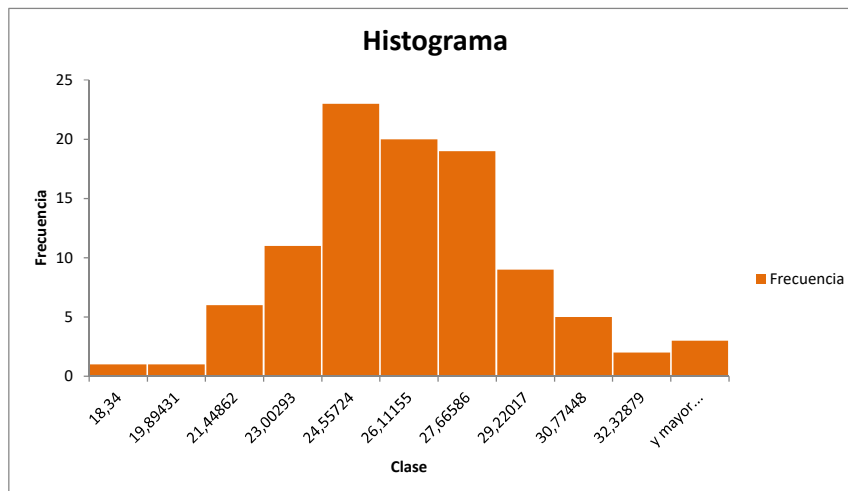


Figura 8. Histograma de frecuencias. Fuente: elaboración propia

Las cartas de control son gráficos que se utilizan para evaluar el comportamiento de un proceso mediante una o varias variables de interés que caracterizan el proceso estudiado. Este gráfico se compone de una línea central, un límite superior y un límite inferior si para la variable analizada se registra un valor superior e inferior frente a los cuales se va a comparar. En caso contrario sólo se tendrá un valor central y uno superior o inferior según corresponda a un valor máximo o mínimo que se toman como límites de referencia. Los datos de la variable oscilan en el eje vertical a lo largo del eje horizontal de manera secuencial.

Con base en el comportamiento de estos datos se podrá determinar si el proceso está bajo control, fuera de control, tiene estabilidad o tendencias que requieren acciones de mejoramiento. El gráfico indica lo que es capaz de realizar un proceso, muestra la variación y ayuda a diferenciar las causas comunes de las especiales.

Las cartas de control multivariadas permiten analizar varias características de un proceso de manera simultánea. Al igual que las cartas univariadas, muestran el comportamiento del proceso para poder determinar si este se encuentra bajo control o no. Una de las herramientas de mayor uso es la carta multivariada propuesta por Hotelling basada en el estadístico T^2 de Hotelling (Pignatiello, 1993; Zertuche y Cantú, 2008). Las cartas Cusum y Ewma multivariadas son también otros gráficos que permiten el análisis de varias características.

Los gráficos Cusum se fundamentan en la representación acumulada de las

desviaciones de cada observación respecto a un valor de referencia, por eso se denominan cartas con memoria. “Los gráficos EWMA o de medias móviles ponderadas exponencialmente (EWMA= exponentially weighted moving-average) se realizan usualmente sobre observaciones individuales. Permiten suavizar ruidos que previamente no se han detectado. De manera similar al Cusum, este gráfico acumula en cada periodo los valores de observaciones pasadas. La variable que se representa en cada periodo es un promedio de la observación más reciente con las observaciones anteriores, donde se da más peso a las observaciones más próximas (Rodríguez et al., 2012).

METODOLOGIA

El estudio que se lleva a cabo es de carácter descriptivo que finaliza en el planteamiento de acciones de mejoramiento que contribuyan al mejoramiento de la calidad. La investigación descriptiva consiste en la recopilación de datos que describen los acontecimientos y luego organiza, tabula, representa y describe la recopilación de datos (Glass & Hopkins, 1984).

El estudio de confiabilidad parte de la definición del proyecto que se abordará (Figura 9). Este surge del interés del investigador y de las prioridades del cliente, en este caso, de la empresa interesada. El presente trabajo se enfocó en el análisis de las reclamaciones de los clientes por garantía de la calidad. Los resultados obtenidos son fuente para el mejoramiento de los productos desde el diseño mismo lo que se denomina como “ingeniería inversa”.

En la identificación del problema como se indicó previamente se establece que la empresa tiene una fuente de información valiosa alimentada por las reclamaciones que han hecho los clientes que han comprado los productos. En la base de datos se incorporan datos relacionados a partir de la información suministrada por los usuarios y registros propios de la empresa que favorecen el análisis de la información.

Una vez identificado y definido el problema se establece si realmente es necesario llevar a cabo un estudio de confiabilidad y qué herramientas complementarias son necesarias. En este caso es claro que el tema es pertinente por la naturaleza del problema y la información que se tiene para dicho estudio. Es necesario contar con una base de datos propia de la empresa o creada a partir de la formulación de instrumentos de recolección de información.

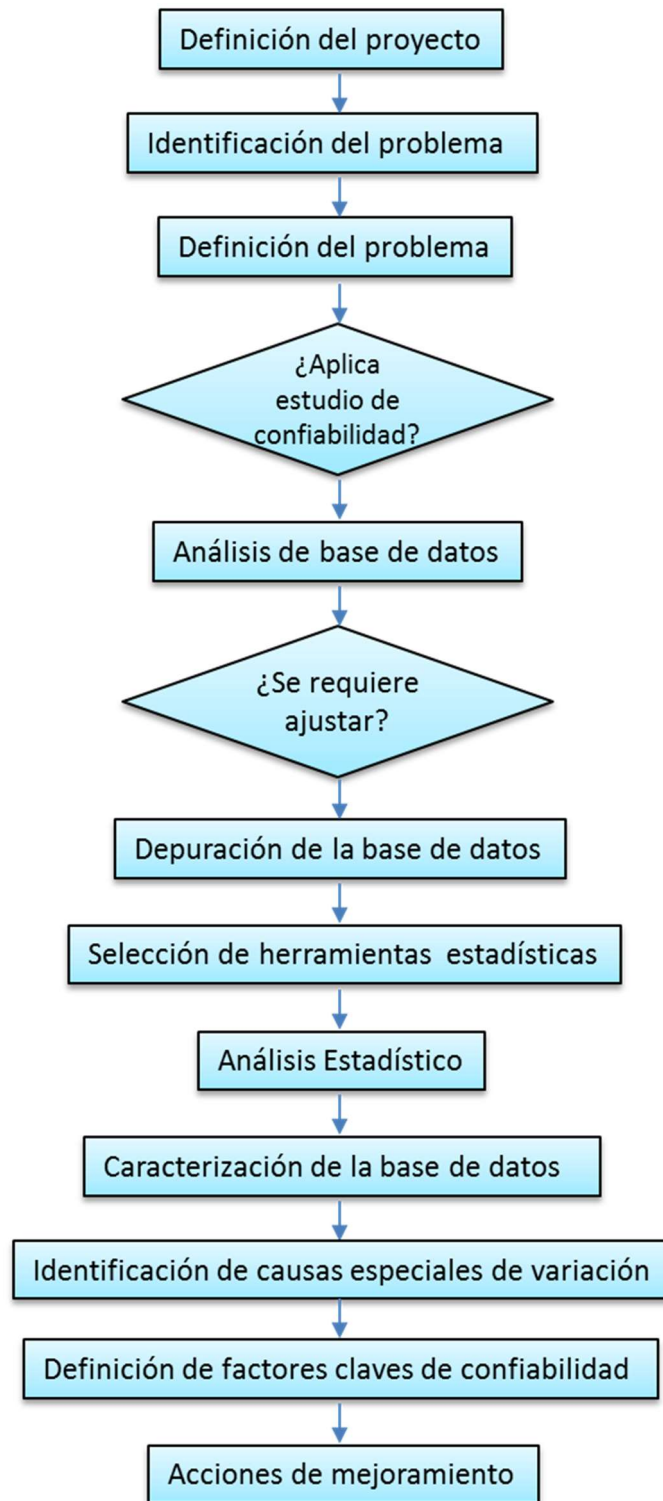


Figura 9. Proceso metodológico. Fuente: elaboración propia

La base de datos fue objeto de una depuración inicial con el fin de que los registros correspondieran efectivamente a los productos analizados, se evaluó que los datos fueran coherentes evitando información inconsistente, sesgada o sin sentido en el contexto evaluado. Una vez ajustada la base de datos, se procedió a realizar el análisis estadístico descriptivo con herramientas generales y aplicadas a la gestión de la calidad. Los resultados permitieron determinar causas especiales de variación, comportamientos no aleatorios y tendencias para caracterizar los factores claves de confiabilidad. Finalmente, se establecen las acciones de mejoramiento que sirven de base para la toma de decisiones en la empresa.

RESULTADOS Y ANALISIS

La empresa objeto de estudio maneja una base de datos en la cual se reportan las reclamaciones de los clientes por garantía de la calidad. Los registros son realizados por los centros de servicio autorizados y allí se consignan aspectos como fecha de venta del producto, fechas en que se produjo la falla, tipo de componente que falló, costo de la atención de la falla. La información que se maneja corresponde a los cuatro principales productos de la empresa que para el presente estudio los identificaremos como Producto 1 (P1), Producto 2 (P2), Producto 3 (P3) y Producto 4 (P4).

Los registros allí consignados fueron objeto de revisión y depuración antes de ser utilizados para el presente trabajo. Se identificaron algunos aspectos tales como: productos que no corresponde a la naturaleza de la base de datos, es decir, aparecían productos distintos a los anteriormente indicados, fechas de fallas anteriores a la fecha de compra, situación que no es posible, ya que no es coherente que un producto se reporte con falla por un cliente cuando ni siquiera se ha vendido. De igual manera algunos registros con valores incorrectos que no corresponden a la información establecida.

Con base en lo anterior se logró consolidar una información base a partir de la cual se realiza el análisis, haciendo énfasis en el tema de confiabilidad y las cartas de control para el mejoramiento de los productos desde el diseño mismo lo que se denomina como "ingeniería inversa". El software R es utilizado para la obtención de las gráficas y cálculos estadísticos.

Análisis descriptivo

En la base de datos seleccionado se encontró (Figura 10) que para el producto 1 el principal componente de falla son las puertas con el 34%, siguiendo en su orden la unidad de refrigeración (25%) y el componente eléctrico (24%) aproximadamente. De igual manera para el producto 2, las puertas siguen siendo el componente con mayor incidencia (42%), conservando el segundo lugar el componente eléctrico (26%) y luego la unidad de refrigeración (15%), aunque disminuyen su participación en comparación con el producto 1. Para el producto 3, la situación cambia debido a que el componente con mayor influencia es el eléctrico (51%), siguiendo las puertas (19%) y la unidad de refrigeración con el (17%). En el producto 4, el componente eléctrico es el que más falla con el 55%, en segundo lugar, las puertas con el 15% y de tercero la unidad de refrigeración con el 13%.

Se observa que el componente puertas es el que tiene mayor incidencia de falla en los productos 1 y 2, mientras que el componente eléctrico lo es para los productos 3 y 4.

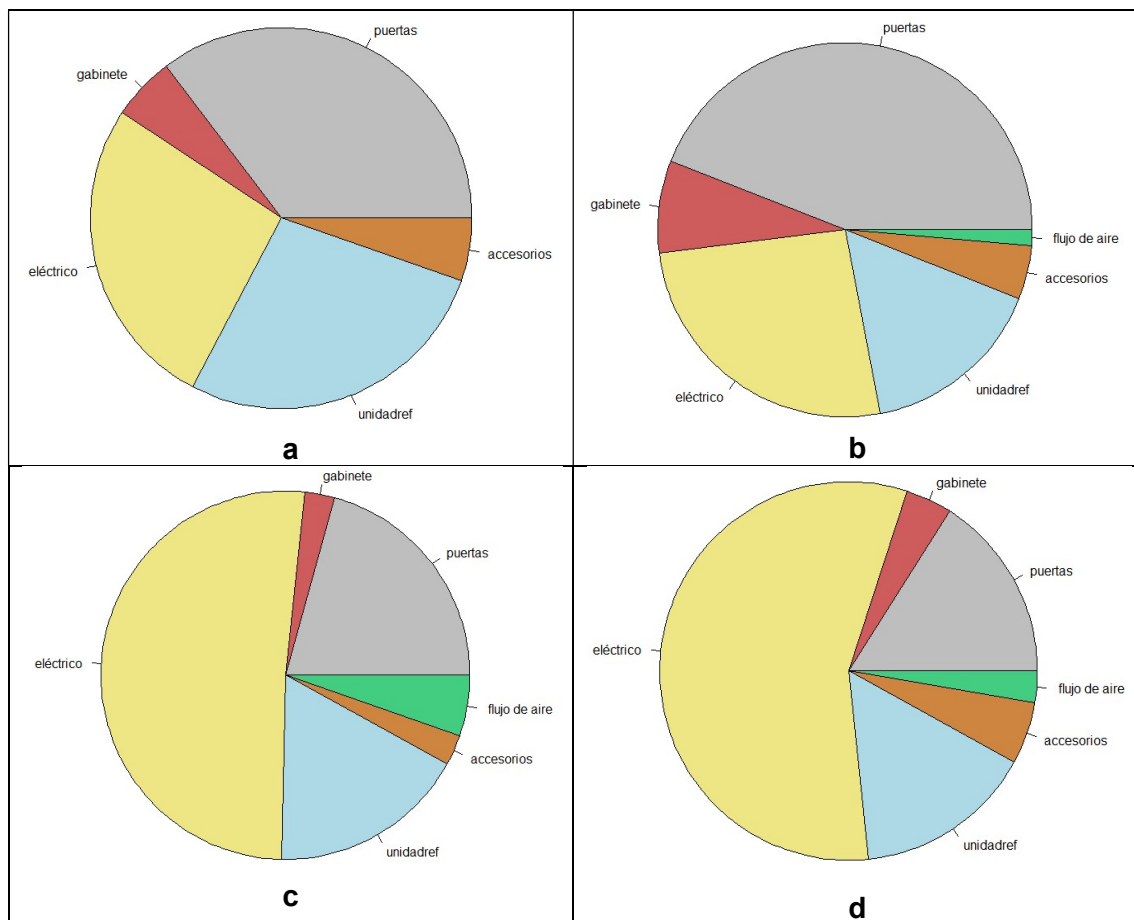


Figura 10. Principales componentes de falla por productos (P1, P2, P3 Y P4). Fuente: elaboración propia

Mediante diagramas de Pareto, podemos analizar más detalladamente la importancia de los componentes que fallan para cada uno de los productos.

En la Figura 11, se observa como los componentes puertas, unidad de refrigeración y eléctrico, constituyen más del 80% de las fallas para el producto 1. Claramente sobre estos componentes han de enfocarse los esfuerzos de mejora del producto.

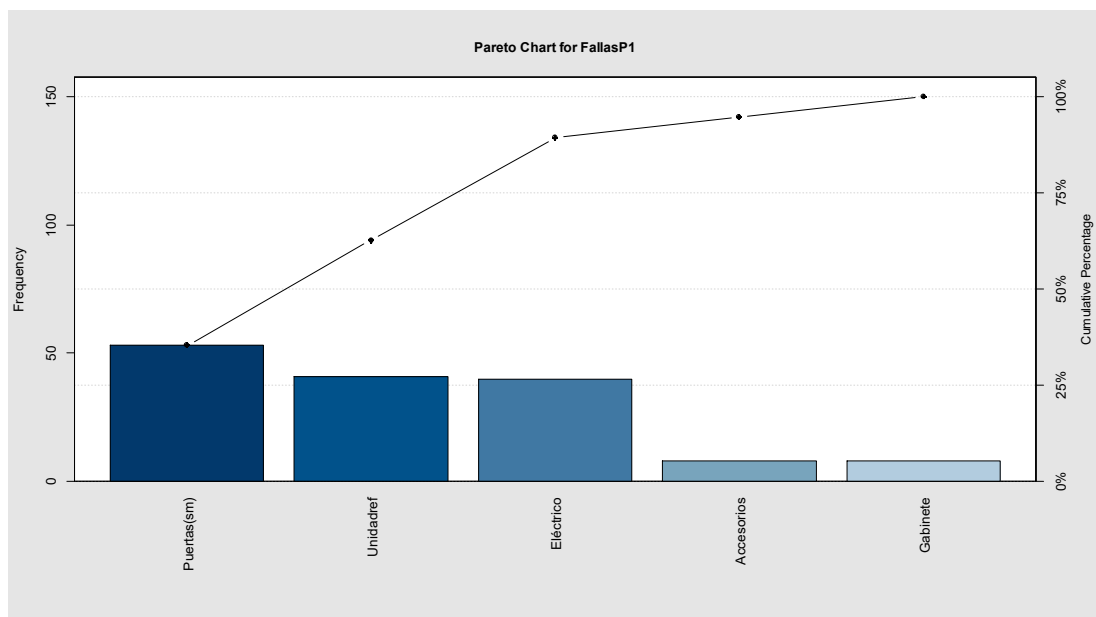


Figura 11. Principales componentes de falla de P1. Fuente: elaboración propia

En el caso del producto 2 (Figura 12), la situación es similar, pero el componente eléctrico pasa a ocupar el segundo lugar, desplazando la unidad de refrigeración al tercero. Estos tres componentes también representan más del 80% de las causas de falla.

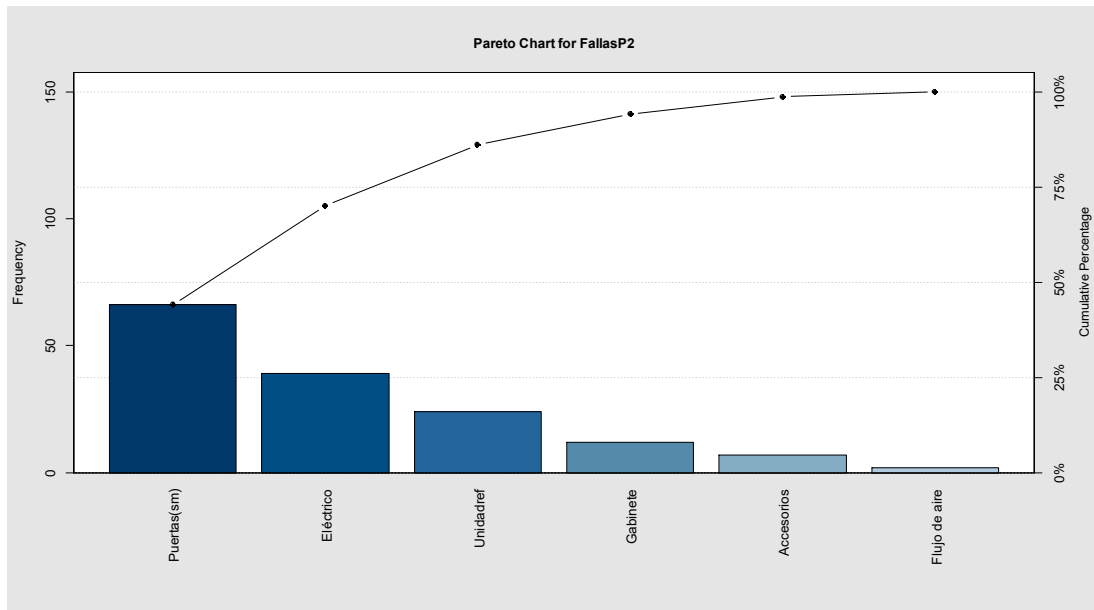


Figura 12. Principales componentes de falla de P2. Fuente: elaboración propia

Con respecto al producto 3, el componente eléctrico desplaza al componente puertas al segundo lugar, que, junto con la unidad de refrigeración, representan el 87% de las fallas. Este es el porcentaje más alto de los tres.

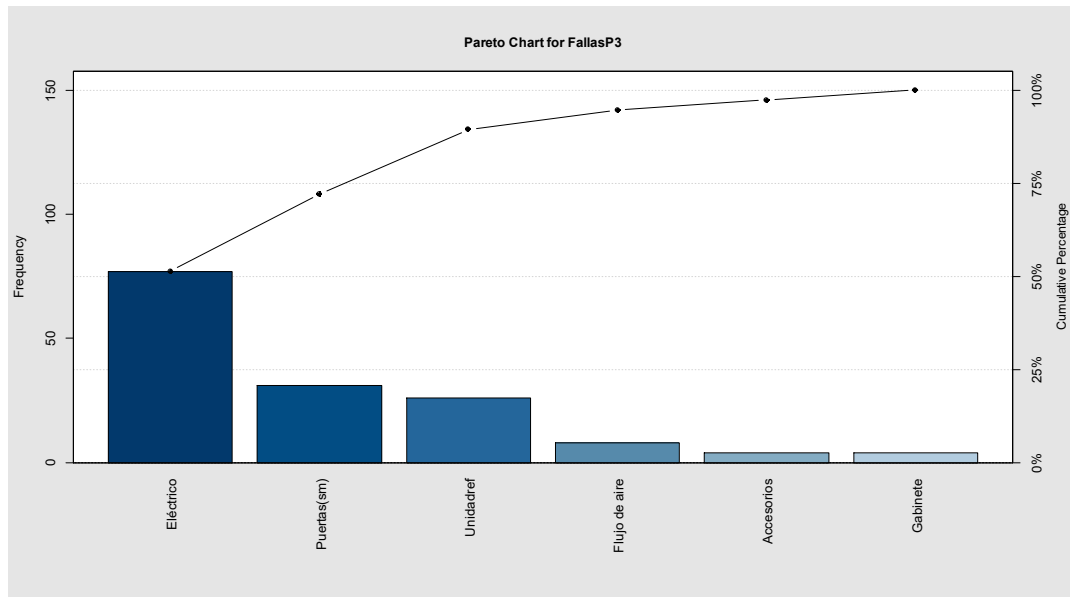


Figura 13. Principales componentes de falla de P3. Fuente: elaboración propia

Finalmente, en el producto 4, los mismos tres componentes acumulan el 83% de todas las fallas de este producto, estando las puertas y la unidad de refrigeración con valores muy próximos.

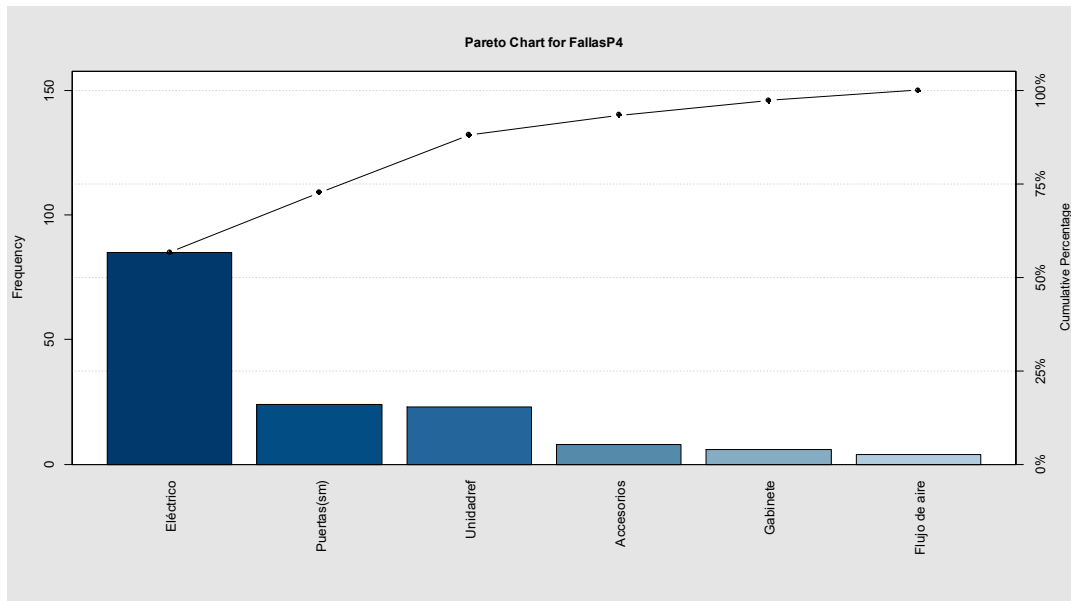


Figura 14. Principales componentes de falla de P4. Fuente: elaboración propia

En conclusión, para esta primera parte, los componentes puertas, eléctrico y unidad de refrigeración, son los componentes claves sobre los cuales se deben orientar los esfuerzos de mejoramiento del producto.

Cartas de control

Otro aspecto de interés para analizar es el relacionado con el tiempo de falla. Esta variable corresponde al tiempo en días en que se demoró el producto para fallar una vez adquirido por el usuario, de acuerdo con los registros elaborados por el centro de servicio autorizado para la atención de reclamaciones por parte de los clientes.

El tiempo de falla es una variable fundamental en la calidad del producto, ya que es un indicador de durabilidad y confianza para los clientes. Es importante tener en cuenta varios aspectos relacionados con esta variable: uno de ellos es que los productos reportados son aquellos que todavía están bajo garantía y son reportados a la empresa a través de los centros de servicio. Esto quiero decir que se tiene productos que pudieran fallar, pero no se tiene información oficial de ellos. También es importante tener presente que las fallas reportadas son evaluadas por el centro de servicio y clasificadas de acuerdo a lo manifestado por el cliente y la revisión técnica que se hace.

De acuerdo a lo anterior, la falla puede ser clasificada como válida, por lo tanto, queda registrada en la base de datos. Existen reclamaciones que no son consideradas como fallas porque corresponden a un aspecto no funcional, es decir, de carácter estético, de

forma, daño o abolladura que no compromete el objetivo para el cual fue diseñado el producto. Hay otras fallas que, siendo funcionales, es evidente que se producen por manejos inapropiados del producto, uso indebido, sobreesfuerzos no permitidos y descuidos que no corresponde al deterioro normal del producto. Cuando se detecta estas razones, sin necesidad de culpar al cliente, se considera una falla no válida. De todas formas, como parte del proceso de servicio al cliente, se evalúan cada una de estas situaciones y se trata de brindar la mejor solución posible.

La empresa dentro de su programa de control y aseguramiento de la calidad realiza pruebas aceleradas de vida, mediante las cuales trata de establecer la confiabilidad del producto frente a las fallas. Los resultados de estas pruebas son registrados en cartas de control estadístico para verificar el comportamiento de esta variable, identificar causas especiales de variabilidad y determinar, junto con otros análisis, posibles tiempos de garantía de sus productos. A partir de esto, y manejando el concepto de ingeniería inversa, se hace el análisis de los tiempos de falla reportados en la base de datos mediante cartas de control de la media basada en el rango y la desviación estándar.

Para cada producto se evaluaron 150 unidades que corresponden al mismo lote de producción. Esto es posible gracias al sistema de trazabilidad que lleva la empresa mediante el cual es posible hacerle seguimiento al producto desde su fabricación, la puesta en el sitio del distribuidor, la venta al cliente final, la falla del producto, su reparación y su entrega al cliente hasta el vencimiento del tiempo de garantía. Toda esta información es posible siempre y cuando se realice a través de los canales autorizados de la empresa.

Al tener organizada la información de esta manera, podemos evaluar el proceso de fabricación en el tiempo y con datos reales del desempeño del producto, similar a las pruebas de vida aceleradas que realiza la empresa. Los resultados obtenidos son claves como un mecanismo de realimentación del sistema de control y aseguramiento de la calidad.

Carta de la media basada en el rango para el producto 1

Se analizaron un total de 150 datos distribuidos en subgrupos de 5 mediciones, con un valor medio de falla de 301,5 días, un límite inferior de 257.34 y un límite superior de 345.63. En la Figura 15 se puede observar que la media del subgrupo 15 está por fuera del límite inferior lo cual indica una falla temprana del producto. Los demás registros se

encuentran dentro de los límites de control, por lo tanto, se tiene un comportamiento normal dentro de lo que se espera para productos que fallaron. Tal como se aclaró anteriormente, los registros corresponden a productos que fallaron, por lo tanto, no cumplieron con las expectativas de calidad planteadas por la empresa, sin embargo, están entre los límites del conjunto de datos analizados.

Summary of group statistics:

```

xbar
Min.    :240.8
1st Qu.:293.1
Median  :301.0
Mean    :301.5
3rd Qu.:313.4
Max.    :331.4

```

```

Group sample size: 5
Number of groups: 30
Center of group statistics: 301.4933
Standard deviation: 32.90341

```

Control limits:

```

LCL      UCL
257.3488 345.6379

```

Beyond limits of control:

```
[1] 240.8
```

Number violationg runs: 0

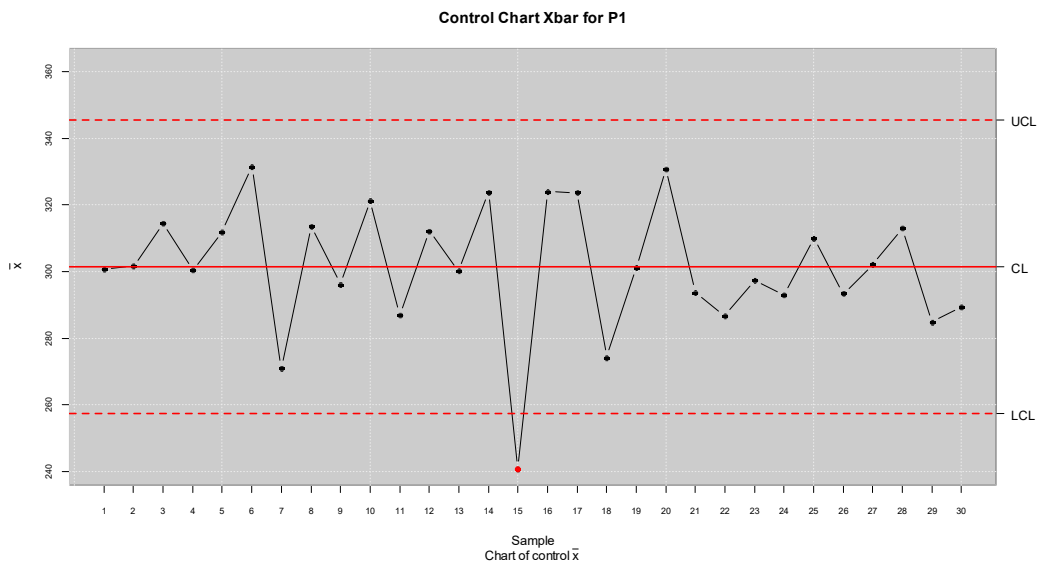


Figura 15. Carta de la media basada en el rango para P1. Fuente: elaboración propia

Carta de la desviación estándar para el producto 1

En cuanto a la carta de la desviación estándar la Figura 16 muestra que todos los registros se encuentran dentro de los límites de control. No se presentan

comportamientos no aleatorios o que se pueden originar por causas especiales o asignables.

Summary of group statistics:

S
Min. : 9.757
1st Qu.: 25.892
Median : 31.903
Mean : 31.980
3rd Qu.: 38.060
Max. : 53.083

Group sample size: 5
Number of groups: 30
Center of group statistics: 31.98029
Standard deviation: 34.0221

Control limits:

LCL UCL
0 66.80675

Number beyond limits: 0

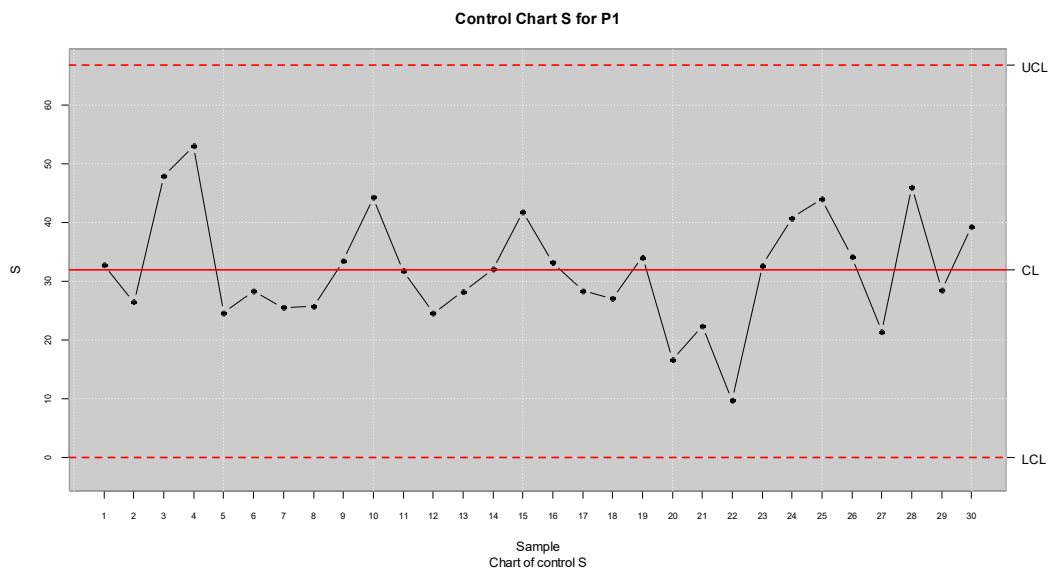


Figura 16. Carta de la desviación estándar para P1. Fuente: elaboración propia

Carta de la media basada en el rango para el producto 2

Al igual que para el producto 1, en el producto 2 se analizaron un total de 150 datos distribuidos en subgrupos de 5 mediciones, con un valor medio de falla de 296,1 días, un límite inferior de 255.52 y un límite superior de 336.74. En la Figura 17 se puede observar que todas las medias de los subgrupos se encuentran dentro de los límites de control. La media de la muestra 19 está muy cerca del límite de control superior, sin embargo, esto no puede verse como algo desfavorable ya que indica que el producto

falló en un tiempo más largo.

xbar chart for P2

Summary of group statistics:

xbar
Min. :263.8
1st Qu.:284.6
Median :292.5
Mean :296.1
3rd Qu.:309.9
Max. :331.6

Group sample size: 5
Number of groups: 30
Center of group statistics: 296.1333
Standard deviation: 30.26655

Control limits:

LCL UCL
255.5265 336.7402

Number beyond limits: 0

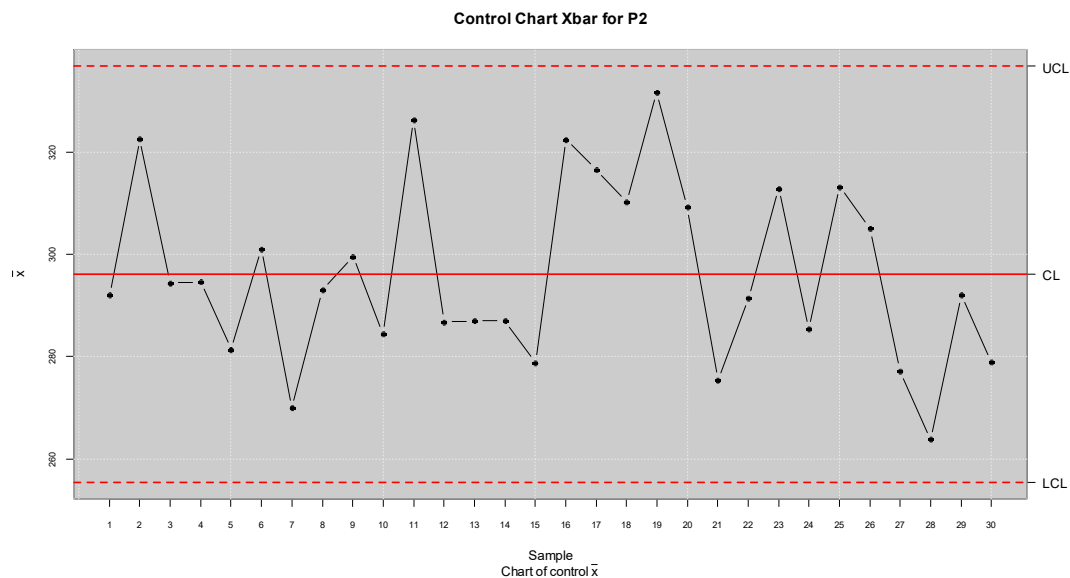


Figura 17. Carta de la media basada en el rango para P2. Fuente: elaboración propia

Carta de la desviación estándar para el producto 2

En cuanto a la carta de la desviación estándar la Figura 18 muestra que todos los registros se encuentran dentro de los límites de control. Pero a diferencia del producto 1, se presentan comportamientos no aleatorios o que se pueden originar por causas especiales o asignables. Desde la muestra 13 hasta la 19 hay una tendencia creciente después de venir de un ciclo alternante. Luego desde la muestra 23 hasta la 28 se aprecia una tendencia decreciente.

En comparación con el producto 1, el producto 2 presenta un tiempo de falla promedio más temprano y comportamientos aparentemente no aleatorios con tendencias crecientes y decrecientes. Esto nos permite establecer que el proceso para el producto 2 estuvo presentó un comportamiento más variable.

S chart for P2

Summary of group statistics:

S
 Min. :10.10
 1st Qu.:21.46
 Median :30.79
 Mean :30.65
 3rd Qu.:41.73
 Max. :51.41

Group sample size: 5
 Number of groups: 30
 Center of group statistics: 30.64611
 Standard deviation: 32.60275

Control limits:

LCL UCL
 0 64.01967

Number beyond limits: 0

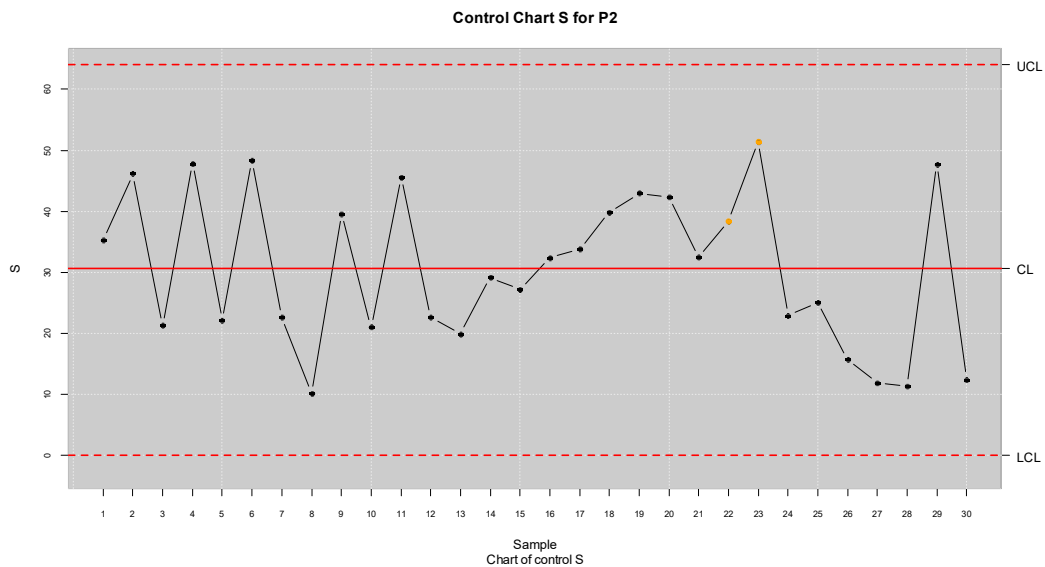


Figura 18. Carta de la desviación estándar para P2. Fuente: elaboración propia

Carta de la media basada en el rango para el producto 3

En el producto 3 encontramos una media de 307.4 días, siendo la más alta entre los tres productos. Esto quiere decir que este producto fue el que tuvo el tiempo de falla más

tardío, lo cual es un aspecto favorable. Presentó (Figura 19) un límite de control superior de 350.94 y un límite inferior de 263.98. Se observa que el registro 21 se encuentra por fuera del límite superior. Los demás datos se encuentran entre los límites.

xbar chart for P3

Summary of group statistics:

xbar
 Min. :284.6
 1st Qu.:296.1
 Median :308.0
 Mean :307.4
 3rd Qu.:314.9
 Max. :354.4

Group sample size: 5
 Number of groups: 30
 Center of group statistics: 307.44
 Standard deviation: 32.3875

Control limits:
 LCL UCL
 263.9876 350.8924

Beyond limits of control:
 [1] 354.4

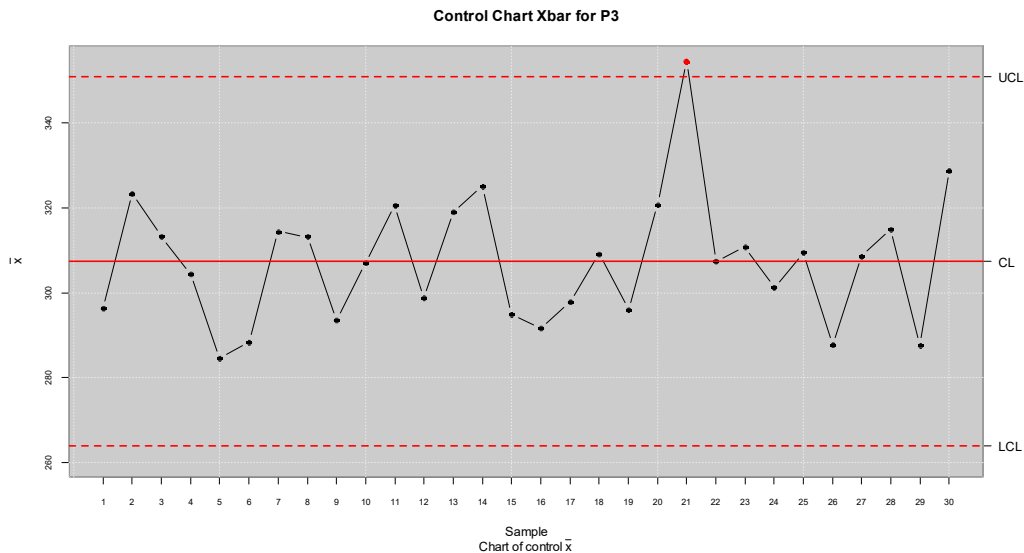


Figura 19. Carta de la media basada en el rango para P3. Fuente: elaboración propia

Carta de la desviación estándar para el producto 3

La carta de la desviación estándar (Figura 20) muestra todos los puntos dentro de los límites. En comparación con los dos productos anteriores es el que presenta un

comportamiento menos variable.

S chart for P3

Summary of group statistics:

S
Min. : 7.232
1st Qu.:27.626
Median :30.972
Mean :32.322
3rd Qu.:38.692
Max. :50.217

Group sample size: 5
Number of groups: 30
Center of group statistics: 32.3216
Standard deviation: 34.3852

Control limits:

LCL UCL
0 67.51975

Number beyond limits: 0

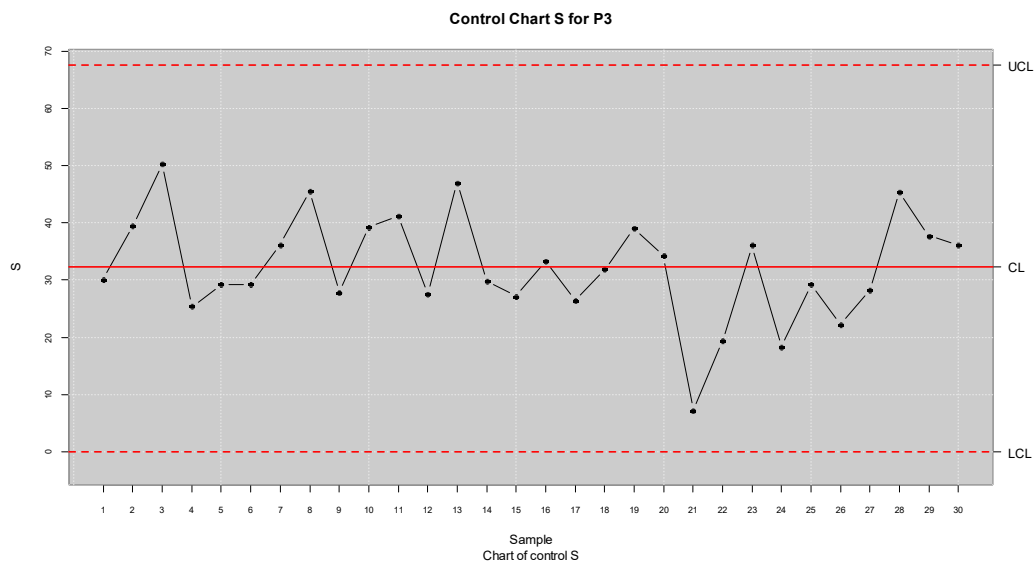


Figura 20. Carta de la desviación estándar para P3. Fuente: elaboración propia

Carta de la media basada en el rango para el producto 4

En la Figura 21 se observa que todos los registros se encuentran dentro de los límites y no se aprecian comportamientos no aleatorios. La media es de 311.3 siendo la mayor entre los cuatros productos evaluados, lo que indica que tiene un tiempo de falla mayor. El límite inferior corresponde a 267.95 y el límite superior es de 354.66 días.

xbar chart for P4

Summary of group statistics:

xbar
Min. :279.0
1st Qu.:299.6
Median :313.1
Mean :311.3
3rd Qu.:321.8
Max. :344.8

Group sample size: 5
Number of groups: 30
Center of group statistics: 311.3067
Standard deviation: 32.31585

Control limits:
LCL UCL
267.9504 354.6629

Number beyond limits: 0

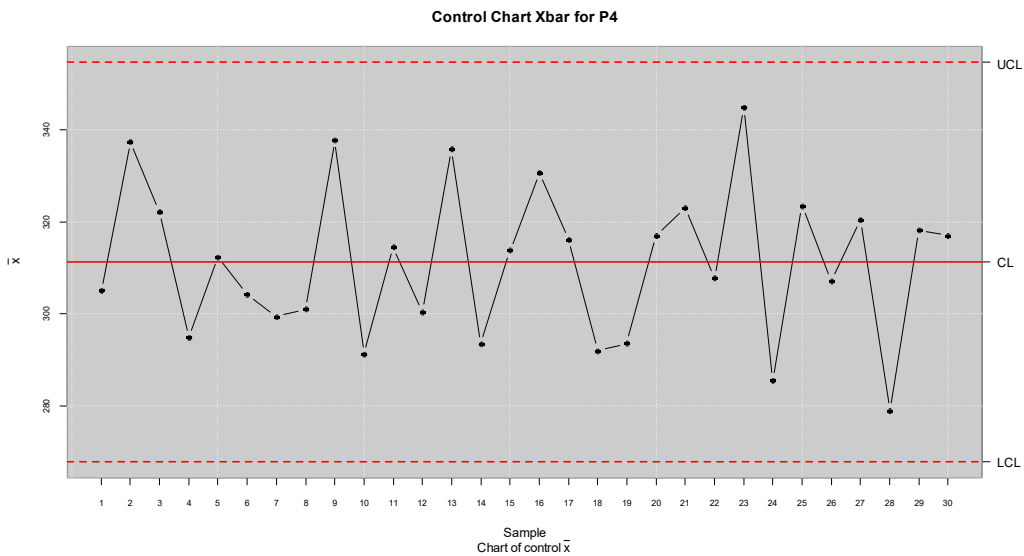


Figura 21. Carta de la media basada en el rango para P4. Fuente: elaboración propia

Carta de la desviación estándar para el producto 4

Al igual que en la carta anterior, los registros se encuentran dentro de los límites de control (Figura 22). Se observa que a medida que pasa el tiempo la variabilidad se incrementó un poco, lo que refleja que se pudo perder un poco el control sobre el proceso. Esto es coherente con lo que sucede en la empresa. Cuando el volumen de fabricación se incrementa, los niveles de calidad disminuyen levemente debido a que se aumenta la velocidad de fabricación, existen mayores presiones del proceso y se deben vincular mayor cantidad de operarios por contrato, algunos de los cuales, requieren

capacitación porque no tienen experiencia en la manufactura de estos productos.

S chart for P4

Summary of group statistics:

S
Min. :12.68
1st Qu.:27.32
Median :29.94
Mean :31.91
3rd Qu.:40.40
Max. :48.46

Group sample size: 5
Number of groups: 30
Center of group statistics: 31.91342
Standard deviation: 33.95097

Control limits:

LCL UCL
0 66.66707

Number beyond limits: 0

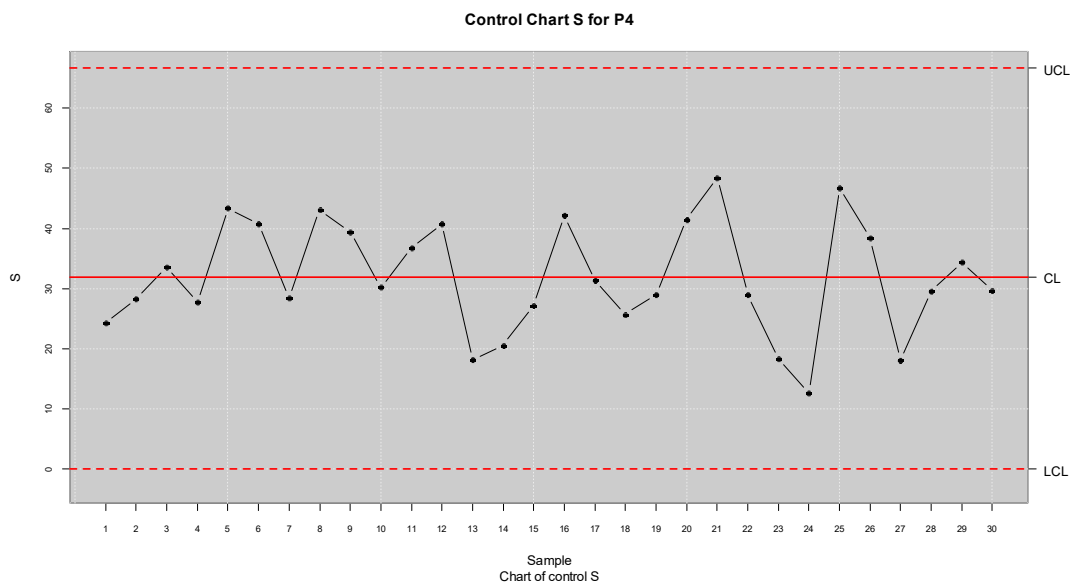


Figura 22. Carta de la desviación estándar para P4. Fuente: elaboración propia

Cartas EWMA

Con el fin de lograr un análisis complementario a las cartas de control anteriormente evaluadas, se construyen las cartas Ewma las cuales permiten detectar cambios más pequeños en el proceso.

Carta Ewma para el Producto 1

En la Figura 23 se muestra la carta de control Ewma para el producto 1. Se observa que los puntos calculados para la carta Ewma se encuentran dentro de los límites de control construidos, sin embargo, se encuentra que 10 de las medias de los subgrupos originales se encuentran por fuera de estos límites.

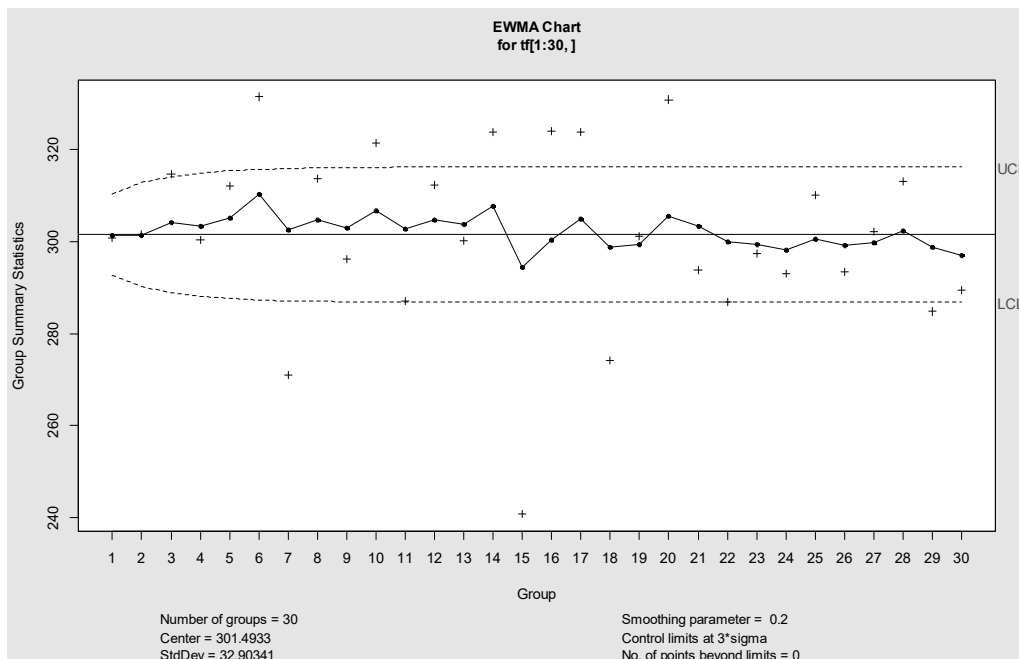


Figura 23. Carta EWMA para P1. Fuente: elaboración propia

Summary of group statistics:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
240.8000	293.1000	301.0000	301.4933	313.4500	331.4000

Group sample size: 5

Number of groups: 30

Center of group statistics: 301.4933

Standard deviation: 32.90341

Smoothing parameter: 0.2

Control limits:

	LCL	UCL
1	292.6644	310.3222
2	290.1868	312.7999
...		
30	286.7785	316.2082

Carta Ewma para el Producto 2

En la Figura 24 se muestra la carta de control Ewma para el producto 2. Similar que para el producto 2, se observa que los puntos calculados para la carta Ewma se encuentra dentro de los límites de control construidos, sin embargo, se encuentra que 9 de las medias de los subgrupos originales están por fuera de estos límites.

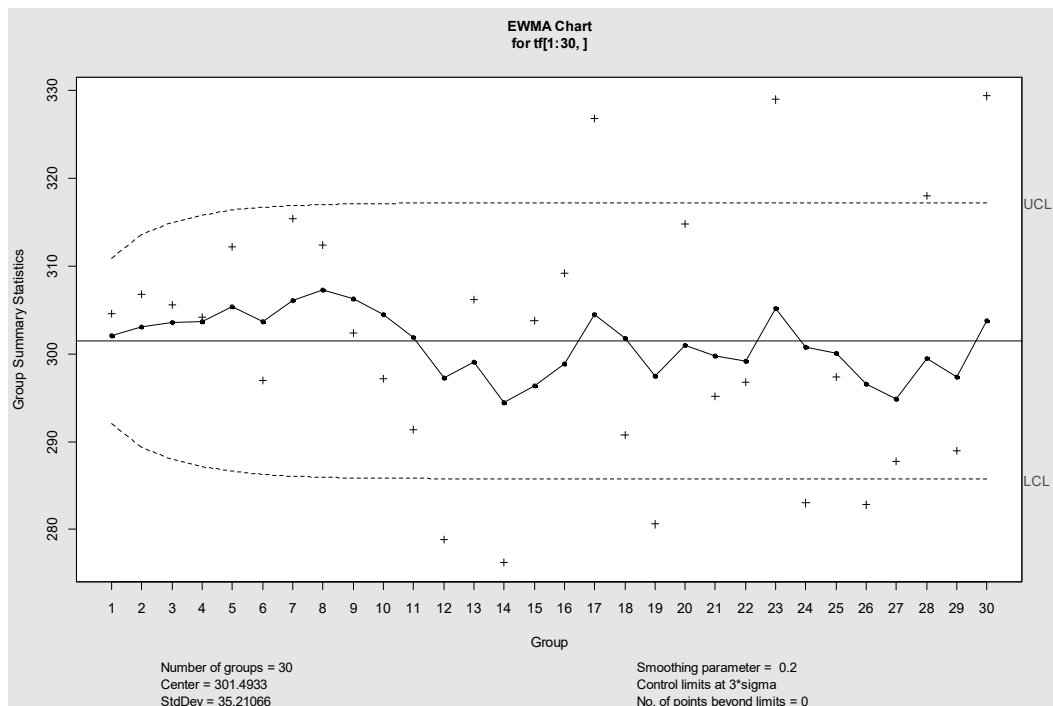


Figura 24. Carta EWMA para P2. Fuente: elaboración propia

Summary of group statistics:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
276.2000	290.9500	303.1000	301.4933	311.4500	329.4000

Group sample size: 5
 Number of groups: 30
 Center of group statistics: 301.4933
 Standard deviation: 35.21066

Smoothing parameter: 0.2

Control limits:

	LCL	UCL
1	292.0453	310.9413
2	289.3940	313.5927
...		
30	285.7467	317.2400

Carta Ewma para el Producto 3

En la Figura 25 se muestra que los puntos calculados para la carta Ewma se encuentra

dentro de los límites de control construidos, sin embargo, 10 de las medias de los subgrupos originales se ubican por fuera de estos límites.

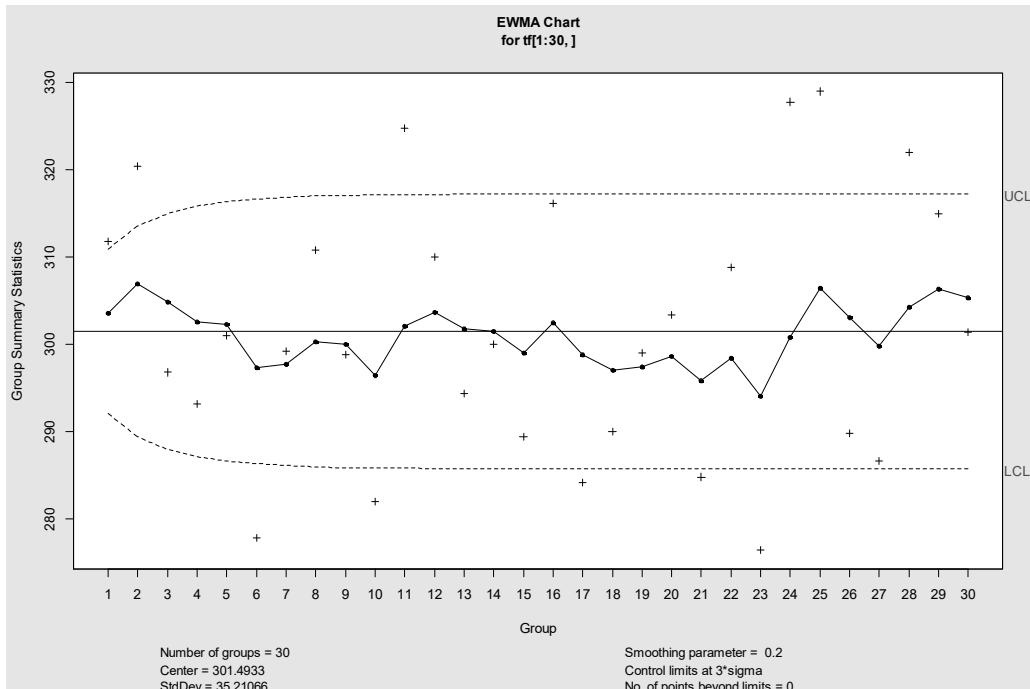


Figura 25. Carta EWMA para P3. Fuente: elaboración propia

Summary of group statistics:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
276.4000	289.8500	299.6000	301.4933	311.5500	329.0000

Group sample size: 5
 Number of groups: 30
 Center of group statistics: 301.4933
 Standard deviation: 35.21066

Smoothing parameter: 0.2

Control limits:

	LCL	UCL
1	292.0453	310.9413
2	289.3940	313.5927
...		
30	285.7467	317.2400

Carta Ewma para el Producto 4

En la Figura 26 se muestra la carta de control Ewma para el producto 4. Se observa que los puntos calculados para la carta Ewma se encuentra dentro de los límites de control construidos, sin embargo, 7 de las medias de los subgrupos originales están por fuera de estos límites.

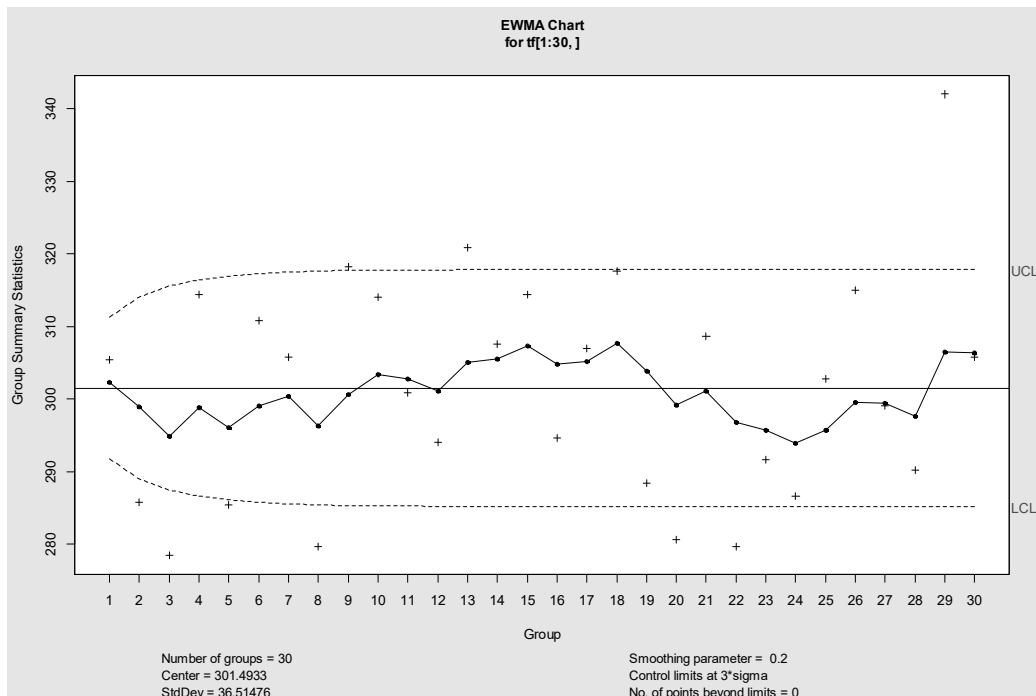


Figura 26. Carta EWMA para P4. Fuente: elaboración propia

Summary of group statistics:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
278.4000	288.8500	304.1000	301.4933	313.2000	342.0000

Group sample size: 5
 Number of groups: 30
 Center of group statistics: 301.4933
 Standard deviation: 36.51476

Smoothing parameter: 0.2
 Control limits:

	LCL	UCL
1	291.6954	311.2913
2	288.9458	314.0408
...		
30	285.1634	317.8232

En general, con respecto a las cartas Ewma, los cuatro productos presentan comportamientos similares. Los puntos calculados para la carta Ewma se encuentra dentro de los límites de control construidos, sin embargo, en todas las cartas se aprecia que medias de los subgrupos originales se ubican por fuera de estos límites.

Análisis de confiabilidad

Con los resultados anteriores se evaluó el comportamiento de los días de falla de los productos, los cuales no cumplieron con el tiempo de garantía establecido que es de

365 días calendario. Desde luego esto es así, porque se trata de productos que fueron objeto de reclamaciones por garantía. Ahora, el propósito es establecer a partir de los estadísticos obtenidos, que corresponden a la media y la desviación estándar, un valor de referencia para estimar el tiempo de garantía de los productos. Para ello, se toma como base la distribución normal, mediante la cual se modela el tiempo de vida de productos como los estudiados en el presente trabajo. Las medidas y funciones trabajadas son:

Función de Densidad:
$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}; -\infty < t, \mu < \infty, \sigma > 0$$

Distribución Acumulada:
$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(x) dx = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$$

Función de Confiabilidad:
$$R(t) = 1 - \int_{-\infty}^t f(x) dx = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$$

Tasa de falla:
$$h(t) = f(t)/R(t)$$

Para ello, trabajamos con el tiempo (t), la función de densidad (f(t)), la función acumulada (F(t)), la función de confiabilidad (R(t)) y la tasa de falla (h(t)). El análisis se hace de forma numérica y acompañado con su respectiva representación gráfica.

Función de confiabilidad para el producto 1

Para el producto 1 se toma un valor promedio de 301.49 y una desviación estándar de 35.49 días calculados directamente de la muestra. El menor valor de t es 0 que corresponde al momento en que el producto 1 es comprado por el cliente. En este punto, la confiabilidad del producto 1 (Tabla 1) es 1 ya que es un producto 1 nuevo que está al 100% de cumplir con la función para la cual fue diseñado. De igual manera, la probabilidad acumulada de falla y la tasa de falla tienden a 0.

En cuanto al límite superior no existe la certeza de cuando fallará el producto 1, pero teniendo en cuenta que se está modelando mediante una distribución normal, se toma un valor de referencia superior a las tres desviaciones estándar. Se observa en la Tabla 1 que cuando t es igual a la media, la confiabilidad es del 50% al igual que la probabilidad de falla acumulada. Esto significa que el producto 1 tiene una probabilidad del 0.5 o 50% de seguir cumpliendo la función para la cual fue diseñado.

t	f(t)	F(t)	R(t)	h(t)
0	2,39846E-18	9,88666E-18	1	2,39846E-18
10	2,52489E-17	1,07551E-16	1	2,52489E-17
100	1,12572E-09	6,83638E-09	0,99999999	1,12572E-09
101	1,32048E-09	8,05698E-09	0,99999999	1,32048E-09
102	1,54772E-09	9,48816E-09	0,99999999	1,54772E-09
150	1,24216E-06	9,8353E-06	0,99999016	1,24218E-06
200	0,000188333	0,002119826	0,99788017	0,000188733
201	0,000204055	0,002315928	0,99768407	0,000204529
202	0,000220915	0,002528316	0,99747168	0,000221475
240	0,002505432	0,041575806	0,95842419	0,002614116
250	0,003923483	0,073401439	0,92659856	0,004234286
251	0,004085586	0,077405692	0,92259431	0,004428366
290	0,010666655	0,37302756	0,62697244	0,017012956
291	0,01076016	0,383741608	0,61625839	0,017460469
292	0,010845871	0,394545282	0,60545472	0,017913596
293	0,010923589	0,405430686	0,59456931	0,018372272
294	0,010993132	0,416389735	0,58361027	0,018836427
295	0,011054338	0,427414171	0,57258583	0,019305994
300	0,01123097	0,483218516	0,51678148	0,021732532
301	0,011239831	0,49445466	0,50554534	0,022233082
302	0,011239771	0,505695204	0,4943048	0,022738544
303	0,011230792	0,516931229	0,48306877	0,023248847
304	0,011212914	0,528153821	0,47184618	0,023763917
305	0,011186179	0,539354104	0,4606459	0,024283684
306	0,011150652	0,550523249	0,44947675	0,024808074
307	0,011106417	0,561652505	0,43834749	0,025337015
308	0,011053578	0,572733215	0,42726679	0,025870436
309	0,01099226	0,583756834	0,41624317	0,026408264
310	0,010922606	0,594714955	0,40528504	0,02695043
384	0,000753726	0,989957971	0,01004203	0,075057153
385	0,000705656	0,990687446	0,00931255	0,075774667
386	0,000660127	0,99137013	0,00862987	0,076493235
.
.
.
517	1,10662E-10	0,999999999	6,305E-10	0,175514819
518	9,32226E-11	0,999999999	5,288E-10	0,17629017
519	7,84688E-11	1	4,4316E-10	0,17706571

Tabla 1. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P1.
Fuente: elaboración propia

En Figura 27a se observa la función de densidad para los valores de t, la cual corresponde a la distribución normal. La Función acumulada muestra la probabilidad de que el producto 1 funcione correctamente hasta el tiempo t, la cual va creciendo, ya que cada día que pasa sin que falle el producto la probabilidad se acumula. De otro lado, la función de confiabilidad (Figura 27c) muestra como esta va decreciendo a medida que transcurre el tiempo. Esto refleja que a medida que pasa el tiempo el producto va perdiendo confiabilidad.

Con respecto a la tasa de falla, esta se incrementa con el paso del tiempo. Esto quiere decir que el producto se va deteriorando con los días y está más expuesto a una posible falla. Todo esto bajo condiciones adecuadas de uso y operación del producto. Con base en este modelamiento, la empresa podría plantearse un valor mínimo de referencia con respecto al cual se tenga un nivel muy alto de confiabilidad, por ejemplo, en el caso del 95%, el tiempo máximo de garantía debería estar alrededor de 243 días. De esta forma reduciría el número de productos que entraría por reclamaciones, pero perdería competitividad frente a productos de la competencia que ofrecieran un tiempo mayor de garantía. Lo fundamental es diseñar un producto que pueda tener un tiempo de garantía igual o mayor a la competencia.

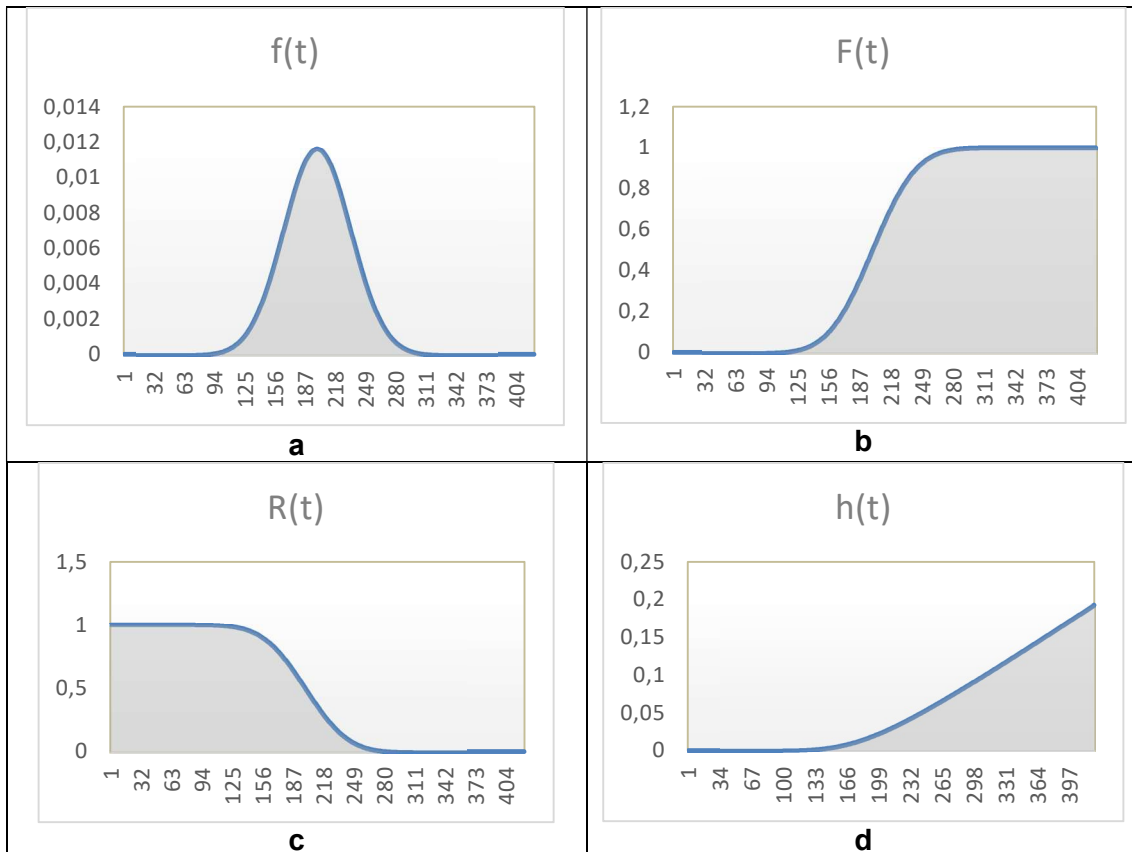


Figura 27. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P1.
Fuente: elaboración propia

Función de confiabilidad para el producto 2

El producto 2 tiene unas características similares en cuanto a confiabilidad, función acumulada y tasa de falla. se toma un valor promedio de 296.13 y una desviación estándar de 34.36 días. Con estos valores, la confiabilidad del producto es un poco

menor (Tabla 2). Por ejemplo, para un nivel de confiabilidad del 95%, el tiempo máximo de garantía debe ser de 239 días.

t	f(t)	F(t)	R(t)	h(t)
0	8,7359E-19	3,43896E-18	1	8,7359E-19
10	1,02767E-17	4,18315E-17	1	1,02767E-17
100	9,81864E-10	5,74556E-09	0,99999999	9,81864E-10
101	1,15875E-09	6,8135E-09	0,99999999	1,15875E-09
102	1,36634E-09	8,07328E-09	0,99999999	1,36634E-09
150	1,37558E-06	1,05839E-05	0,99998942	1,37559E-06
200	0,000232073	0,002576597	0,9974234	0,000232672
201	0,000251646	0,002818342	0,99718166	0,000252357
202	0,000272639	0,003080363	0,99691964	0,000273482
239	0,002914879	0,04820909	0,95179091	0,00306252
250	0,00471489	0,089734339	0,91026566	0,005179685
251	0,004900627	0,094541839	0,90545816	0,005412318
290	0,01142506	0,429177567	0,57082243	0,020015086
291	0,011479685	0,440630726	0,55936927	0,020522551
292	0,011524808	0,452133769	0,54786623	0,021035807
293	0,011560317	0,463677137	0,53632286	0,021554772
294	0,011586121	0,475251168	0,52474883	0,022079366
296	0,011608379	0,498452208	0,50154779	0,02314511
300	0,011535222	0,544791545	0,45520845	0,025340526
301	0,011492652	0,556306281	0,44369372	0,025902219
302	0,011440548	0,56777367	0,43222633	0,026468883
303	0,011379042	0,579184243	0,42081576	0,027040437
304	0,011308288	0,590528671	0,40947133	0,0276168
305	0,011228462	0,601797794	0,39820221	0,028197891
306	0,011139764	0,612982638	0,38701736	0,028783629
307	0,011042413	0,624074438	0,37592556	0,029373936
308	0,010936649	0,63506466	0,36493534	0,029968731
309	0,010822731	0,645945018	0,35405498	0,030567937
310	0,010700934	0,656707495	0,3432925	0,031171476
384	0,000441861	0,994717303	0,0052827	0,083643017
385	0,000410007	0,995143068	0,00485693	0,084416914
386	0,000380128	0,995537975	0,00446202	0,08519181
.
.
.
517	1,24673E-11	1	6,5158E-11	0,19133896
518	1,03364E-11	1	5,3789E-11	0,19216762
519	8,56254E-12	1	4,4366E-11	0,192996596

Tabla 2. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P2.
Fuente: elaboración propia

En la Figura 28 se tienen los comportamientos de las funciones de confiabilidad, acumulada y de la tasa de falla. Estos son similares al producto 1, aunque teniendo en cuenta que la confiabilidad es un poco menor y la tasa de falla se incrementa levemente.

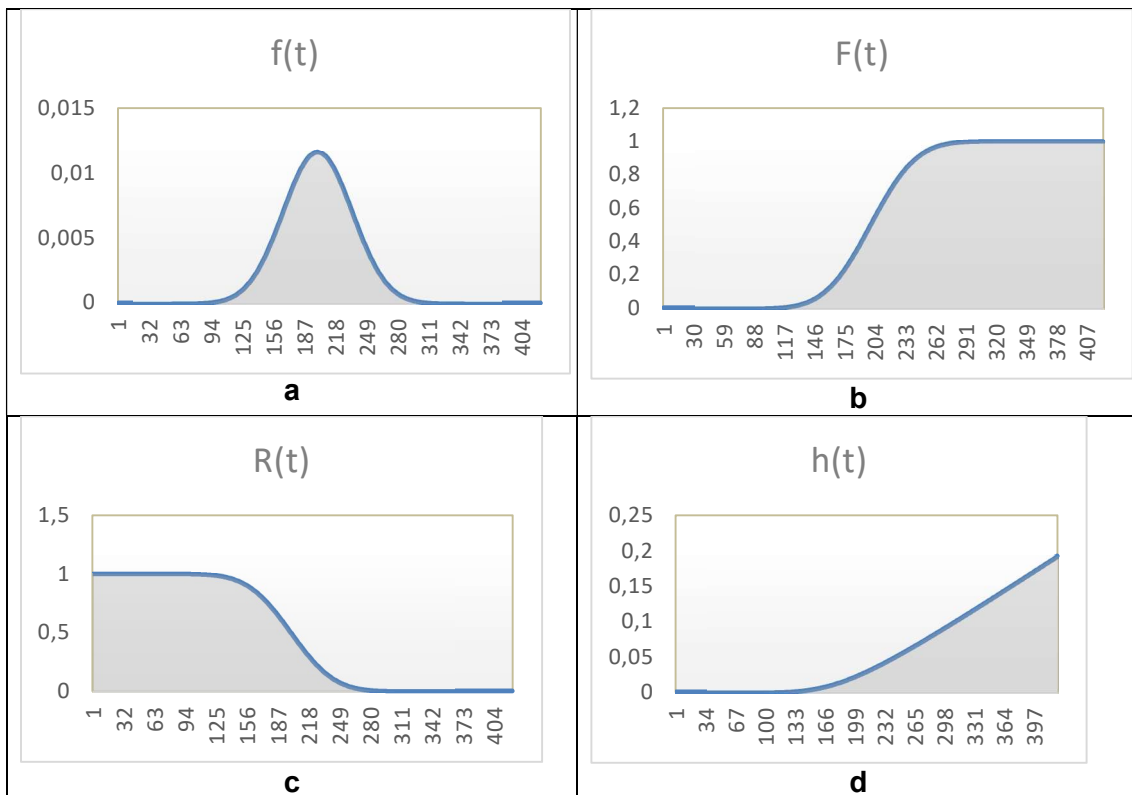


Figura 28. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P2.
Fuente: elaboración propia

Función de confiabilidad para el producto 3

El modelamiento del producto 3 se lleva a cabo con una media de 307.44 días y una desviación estándar de 33.62. La media de vida de este producto es mayor, por lo tanto, tiene mejores desempeños (Tabla 3). Para el 95% de confiabilidad se tiene un valor máximo de referencia de 252 días frente a los 239 días del producto 2 y 243 días del producto 1.

En la Figura 29 se muestra el comportamiento del producto 3, se tiene la representación gráfica de las funciones de densidad, acumulada, de confiabilidad y la tasa de falla. La función de confiabilidad y la tasa de falla muestran un mejor desempeño de este producto.

t	f(t)	F(t)	R(t)	h(t)
0	8,34708E-21	3,03431E-20	1	8,34708E-21
10	1,21122E-19	4,54752E-19	1	1,21122E-19
100	6,45581E-11	3,43279E-10	1	6,45581E-11
101	7,75242E-11	4,14128E-10	1	7,75242E-11
102	9,30122E-11	4,99167E-10	1	9,30122E-11
150	2,0595E-07	1,41919E-06	0,99999858	2,0595E-07
200	7,19962E-05	0,00069865	0,99930135	7,20465E-05
201	7,91382E-05	0,000774166	0,99922583	7,91995E-05
202	8,69117E-05	0,000857136	0,99914286	8,69862E-05
250	0,002757993	0,043796373	0,95620363	0,002884315
251	0,002900441	0,0466252	0,9533748	0,003042288
252	0,003047551	0,049598809	0,95040119	0,003206594
290	0,010371216	0,302000216	0,69799978	0,014858481
291	0,010527771	0,312450285	0,68754972	0,015312015
292	0,010677242	0,323053398	0,6769466	0,01577265
293	0,010819262	0,333802285	0,66619771	0,016240317
294	0,010953479	0,34468932	0,65531068	0,01671494
295	0,011079557	0,355706529	0,64429347	0,017196444
300	0,011577437	0,412444359	0,58755564	0,01970441
301	0,011648718	0,424058256	0,57594174	0,020225514
302	0,011710076	0,435738487	0,56426151	0,020752924
303	0,011761351	0,447475047	0,55252495	0,021286551
304	0,011802407	0,459257782	0,54074222	0,021826309
305	0,011833136	0,471076418	0,52892358	0,022372108
306	0,011853457	0,482920584	0,51707942	0,022923861
307	0,011863315	0,494779843	0,50522016	0,023481477
308	0,011862686	0,506643718	0,49335628	0,024044866
309	0,01185157	0,518501719	0,48149828	0,02461394
310	0,011829996	0,530343371	0,46965663	0,025188608
384	0,000888257	0,988602516	0,01139748	0,077934438
385	0,000829735	0,989461243	0,01053876	0,078731732
386	0,000774383	0,990263042	0,00973696	0,079530303
.
.
.
517	4,36685E-11	1	2,2996E-10	0,18989529
518	3,62646E-11	1	1,9011E-10	0,190760044
519	3,00894E-11	1	1,5702E-10	0,191624878

Tabla 3. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P3.
Fuente: elaboración propia

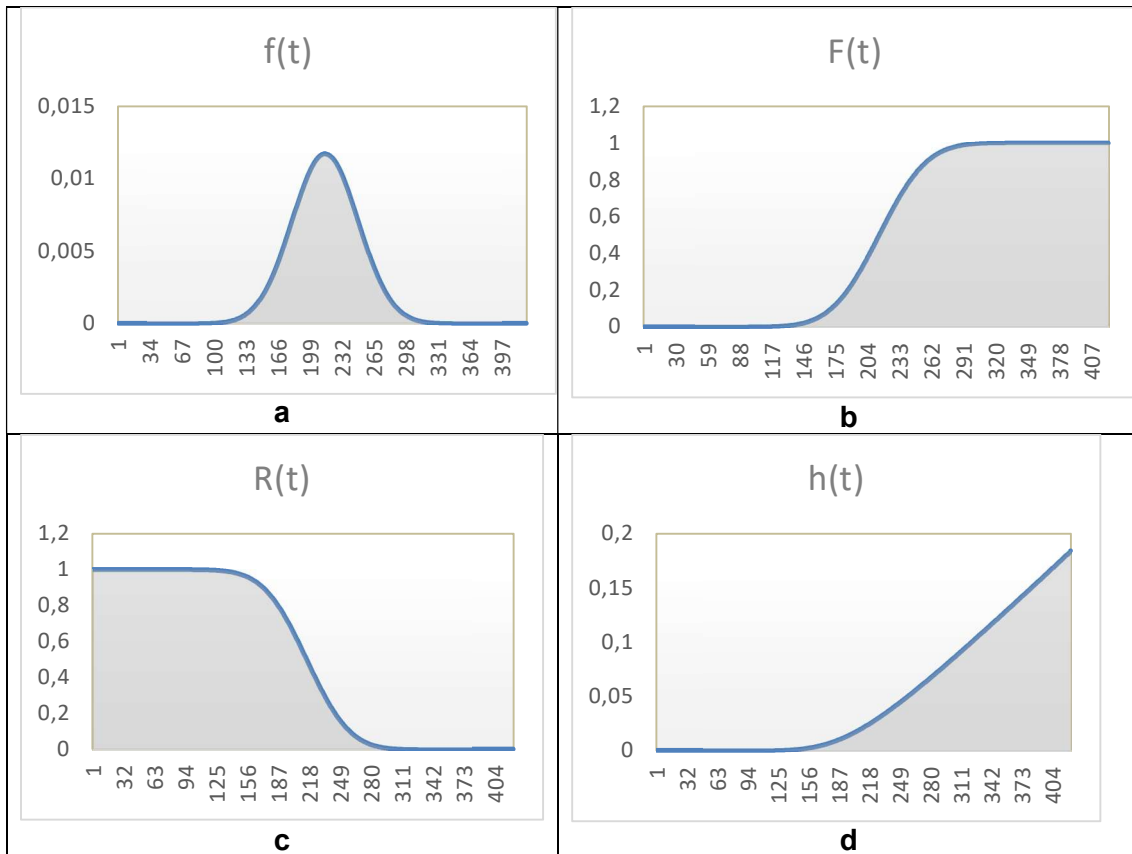


Figura 29. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P3.
Fuente: elaboración propia

Función de confiabilidad para el producto 4

La media para este producto fue de 311.3 días con una desviación estándar de 33.99 días. La media de este producto es mayor que los anteriores lo que puede contribuir a un mejor desempeño (Tabla 4). En el nivel de confiabilidad del 95% el producto tiene un valor máximo de tiempo de garantía de 255 días superior a los demás productos.

En la Figura 30 se aprecia el comportamiento gráfico de las funciones de densidad, acumulada, de confiabilidad y la tasa de falla. La función de confiabilidad y la tasa de falla muestran un mejor desempeño de este producto.

t	f(t)	F(t)	R(t)	h(t)
0	7,17372E-21	2,63181E-20	1	7,17372E-21
10	1,01649E-19	3,85001E-19	1	1,01649E-19
100	4,76257E-11	2,54138E-10	1	4,76257E-11
101	5,71584E-11	3,06388E-10	1	5,71584E-11
102	6,85398E-11	3,6907E-10	1	6,85398E-11
150	1,51121E-07	1,03968E-06	0,99999896	1,51121E-07
200	5,50934E-05	0,000529092	0,99947091	5,51225E-05
201	6,06387E-05	0,000586918	0,99941308	6,06743E-05
202	6,66844E-05	0,000650536	0,99934946	6,67278E-05
250	0,002307616	0,035646306	0,96435369	0,002392915
251	0,002432315	0,038015895	0,9619841	0,002528436
290	0,009643263	0,265385126	0,73461487	0,013126964
291	0,009818494	0,275116444	0,72488356	0,013544926
292	0,009988262	0,285020294	0,71497971	0,013969993
293	0,010152173	0,295091015	0,70490898	0,014402105
294	0,010309848	0,305322561	0,69467744	0,014841202
295	0,010460914	0,315708508	0,68429149	0,015287219
300	0,011104989	0,369704518	0,63029548	0,017618704
301	0,011209344	0,380862408	0,61913759	0,01810477
302	0,011304891	0,39212027	0,60787973	0,018597249
303	0,011391388	0,403469173	0,59653083	0,019096059
304	0,011468617	0,414899956	0,58510004	0,019601121
305	0,01153638	0,426403251	0,57359675	0,020112353
306	0,011594505	0,437969504	0,5620305	0,020629672
307	0,01164284	0,449588998	0,550411	0,021152994
309	0,011709674	0,472948186	0,52705181	0,02221731
310	0,011727998	0,484667865	0,51533214	0,022758135
311	0,011736189	0,496400804	0,5035992	0,023304623
312	0,011734225	0,508136858	0,49186314	0,023856688
385	0,001119147	0,984921347	0,01507865	0,074220601
386	0,00104954	0,986005396	0,0139946	0,074996038
.
.
.
517	1,3115E-10	0,999999999	7,1802E-10	0,182655029
518	1,09714E-10	0,999999999	5,979E-10	0,183500143
519	9,17029E-11	1	4,9745E-10	0,184345464

Tabla 4. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P4.
Fuente: elaboración propia

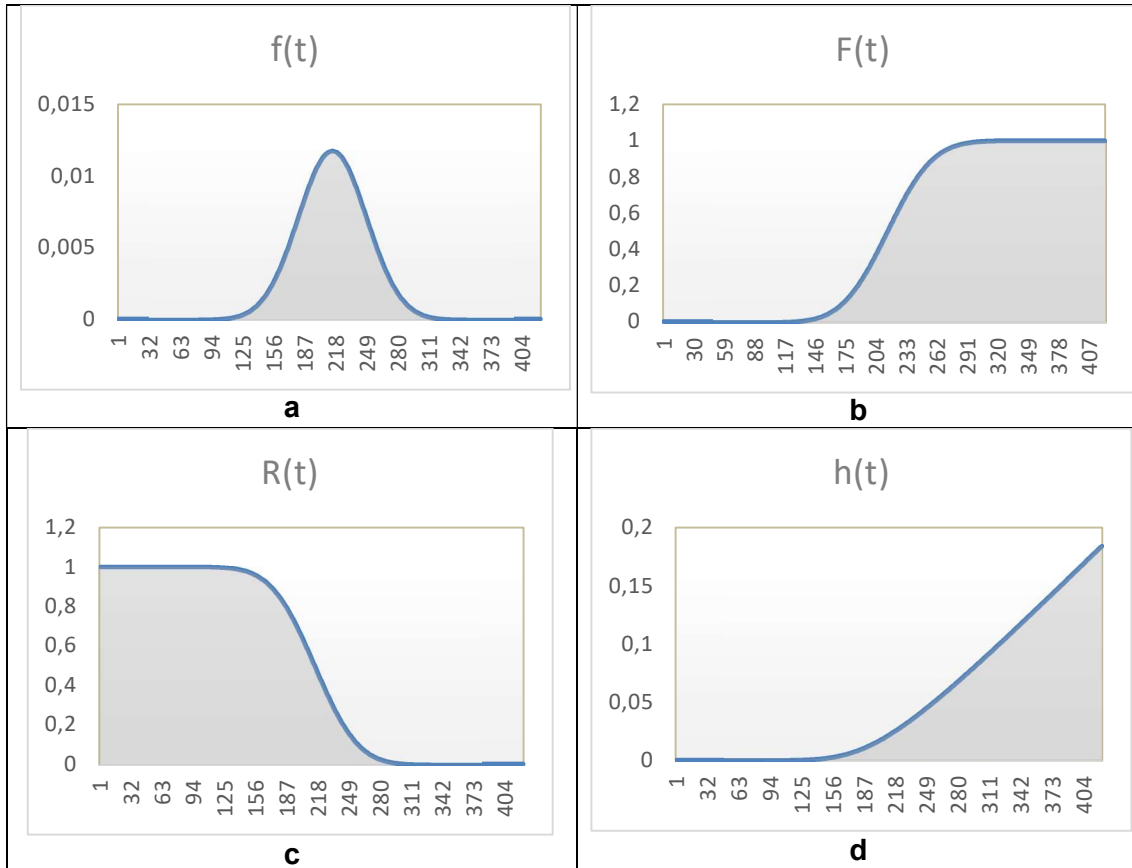


Figura 30. Función de densidad, acumulada, confiabilidad y tasa de falla para P3.
Fuente: elaboración propia

Comparación de desempeño entre los cuatro productos

En la Tabla 5 se registran los valores para la función de confiabilidad y la tasa de falla de los cuatro productos para los valores 100, 200, 250, 300 y 365 de t. El producto 2 tiene un menor desempeño en estos indicadores, a diferencia del producto 4 que muestra un mejor desempeño.

	(t)	P1	P2	P3	P4
R(t)	100	0,99999999	0,99999999	1	1
	200	0,99788017	0,9974234	0,99930135	0,99947091
	250	0,92659856	0,91026566	0,95620363	0,96435369
	300	0,51678148	0,45520845	0,58755564	0,63029548
	365	0,03677403	0,02254093	0,04346642	0,05709594
h(t)	100	1,12572E-09	9,81864E-10	6,45581E-11	4,76257E-11
	200	0,000188733	0,000232672	7,20465E-05	5,51225E-05
	250	0,004234286	0,005179685	0,002884315	0,002392915
	300	0,021732532	0,025340526	0,01970441	0,017618704
	365	0,061652968	0,069156348	0,063065069	0,05903476

Tabla 5. Comparación de la función de confiabilidad y tasa de falla para los cuatro productos. Fuente: elaboración propia

ACCIONES DE MEJORAMIENTO

Con base en los resultados y su análisis se plantean las siguientes acciones que pueden contribuir al mejoramiento de la calidad de los productos.

En primera instancia es importante establecer filtros a la base de datos de reclamaciones de tal forma que cuando se hagan los registros se controle el ingreso de datos tan importantes como las fechas. Esto permitirá que si se ingresa un producto que no corresponde a la base de datos, inmediatamente se muestre la notificación que no permita su ingreso hasta tanto se verifique y se corrija o, efectivamente se compruebe que no corresponde a esta base de datos. También en el caso de las fechas se debe dar este control. Por ejemplo, en el caso de que la fecha de falla sea anterior a la fecha de compra del producto, no admita el registro hasta que se compruebe y se ajuste.

El tiempo de garantía de los productos se debe bajar si se desea disminuir el nivel de productos defectuosos, sin embargo, este puede afectar el nivel de competitividad frente a fabricantes del mismo producto o similares. Se reducen los gastos de no calidad por reclamaciones de garantía, pero se pueden afectar las ventas. Por otro lado, se debe entrar a evaluar en más detalle la calidad de los componentes utilizados en la fabricación de los productos de tal forma que se pueda incrementar el nivel de confiabilidad y se pueda ofrecer un mayor tiempo de garantía sin incrementar el presupuesto de este rubro, destinado para la atención de reclamaciones.

Los niveles de confiabilidad y de la tasa de falla entre los cuatro productos son similares, sin embargo, a través del tiempo y para grandes volúmenes de producción pueden llegar a ser representativos. Se debe verificar por qué el producto 4 tiene un comportamiento levemente mejor en sus indicadores de desempeño. Verificar cuál es la diferencia en los componentes utilizados, en los métodos de trabajo y otros factores que afectan el proceso de fabricación mediante herramientas como diagramas de causa y efecto o análisis de despliegue de la función de calidad. De esta manera se podrían incorporar las experiencias exitosas en los demás productos.

El incremento de los volúmenes de producción de la empresa exige que los controles de calidad sean más efectivos garantizando que la tasa de falla no se incremente por factores de aumento de velocidad de proceso y contratación de personas que no tienen

la experiencia y el conocimiento debido en el proceso de fabricación. En este caso se hace necesario definir planes de capacitación de mayor intensidad que permitan tener operarios mejor calificados.

Las pruebas aceleradas de vida que se realizan en la empresa se pueden utilizar para redefinir los límites de control con el fin de tener información más confiable del estado real de desempeño del producto, el cual se verifica en el campo de funcionamiento, es decir, cuando los clientes los compran y los ponen a prueba en su funcionamiento cotidiano.

En el manual del usuario la empresa puede ser más específica e ilustrativa sobre las condiciones normales de operación del equipo para tratar de reducir las fallas debido a un mal uso del producto. Aunque en este tipo de situaciones no aplica la garantía de la calidad, la empresa podría ahorrar tiempos y esfuerzos en analizar estas situaciones y establecer una mejor relación con los clientes, basada en la buena información y la confiabilidad de sus productos.

La base de datos de reclamaciones puede ser mejor aprovechada haciendo análisis más frecuentes sobre el desempeño real del producto y utilizar sus resultados como insumo para la reformulación de las acciones de mejoramiento de la calidad. Es un proceso dinámico que requiere constante seguimiento.

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo permitió caracterizar el desempeño de los productos desde el punto de vista de los componentes de falla, la variabilidad a través de las cartas de control y su desempeño mediante las funciones de confiabilidad, acumulada y tasa de falla.

La base de datos de reclamaciones fue ajustada y analizada permitiendo extraer la información necesaria para el análisis descriptivo, de calidad y de confiabilidad. Se determinó que los componentes puertas, eléctrico y unidad de refrigeración, son los componentes claves sobre los cuales se deben orientar los esfuerzos de mejoramiento del producto. Se observó que el componente puertas es el que tiene mayor incidencia de falla en los productos 1 y 2, mientras que el componente eléctrico lo es para los productos 3 y 4.

En las cartas de control de la media basada en el rango se encontró un punto por fuera de control para el producto 1 y 3. En los otros dos productos los registros se encontraban dentro de los puntos de control. En el producto 2 se presentan comportamientos no aleatorios o que se pueden originar por causas especiales o asignables. Desde la muestra 13 hasta la 19 hay una tendencia creciente después de venir de un ciclo alternante. Luego desde la muestra 23 hasta la 28 se aprecia una tendencia decreciente.

Se encontró en términos absolutos que el producto 2 tiene un menor desempeño frente a los demás, en contraposición al producto 4 que tuvo mejores indicadores. El producto 1 es más simple en su fabricación, pero tiene una sola puerta que se utiliza constantemente en su uso diario, lo que ocasiona una mayor probabilidad de falla. El producto 4 tiene dos puertas para uso. Esto hace que el uso se distribuya entre los dos reduciendo la probabilidad de falla.

En los cuatro productos se estableció que el tiempo promedio de falla fueron de 301.49, 296.13, 307.44 y 311 días para los productos 1, 2, 3 y 4 respectivamente. En cuanto a su desviación estándar, esta fue de 35.49, 34.36, 33.62 y 33.99 en el mismo orden de productos. A partir del análisis realizado se estableció que el tiempo de garantía para un nivel de confiabilidad del 95% debe tener un valor de referencia mínimo de 243, 239, 252 y 255 días para los productos 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Dependiendo del nivel de confiabilidad el tiempo de garantía puede aumentar o disminuir. Esto exige un equilibrio entre los costos por reclamaciones de garantía y las ventas que se puedan lograr del producto. De otro lado, conforme a lo establecido en las acciones de mejoramiento, se pueden plantear alternativas que permitan mejorar los niveles de confiabilidad a través de la intervención en las materias primas, proveedores, proceso de fabricación o factor de capacitación del talento humano.

REFERENCIAS

Alegría Mosquera, Hilda Yuliana (2015). Diseño de un modelo de control estadístico para el proceso de espumado en paneles termo acústicos tipo sándwich en la empresa Panelmet SAS. Tesis Ingeniería Industrial. Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial, Santiago De Cali.

Ascher, H. y Feingold, H. (1984). Repairable systems reliability: modeling, inference, misconceptions and their causes. New York, NY: Marcel Dekker.

Ciro Martínez Bencardino (2012). Estadística y Muestreo. Décimo tercera edición. Ecoediciones. Bogotá – Colombia.

Burgos, O.A. y Lobelo, A.L. (2008). Estudio de confiabilidad de los equipos críticos de la línea de producción planta 1 de Propilco S.A. y la línea de producción compuestos 3 de Ajoever S.A. Tesis de especialización en Gerencia del Mantenimiento. Universidad Industrial De Santander Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas Escuela De Ingeniería Mecánica Especialización En Gerencia De Mantenimiento Cartagena

Escobar R. L, Villa D. E. y Yáñez C. S. (2003). Confiabilidad: Historia, Estado del arte y Desafíos futuros. Revista DYNA, 70 (140), 5-21.

Gaitán Rebollo, L.K. (2007). Diseño de un modelo de gestión de calidad basado en los modelos de excelencia y el enfoque de gestión por procesos. Trabajo de grado presentado para optar al título de magister en ingeniería industrial. Fundación Universidad del Norte departamento de ingeniería industrial maestría en ingeniería industrial Barranquilla.

Garcés, Alejandro et al. (2008). Mejoramiento de la confiabilidad en sistemas de distribución mediante reconfiguración de alimentadores primarios. Scientia et Technica, 14, No 38, Universidad Tecnológica de Pereira.

Glass, Gene V; y Hopkins, Kenneth D. 1984. Statistical methods in education and psychology. Prentice-Hall (Englewood Cliffs, N.J.)

González, M. J. B. (2017). Gestión estratégica como herramienta para promover la competitividad de las empresas del sector logístico del departamento del Atlántico, Colombia. Gestión, 38(51).

Gutiérrez Pulido, Humberto y Salazar, Román de la Vara (2013). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma. Tercera edición. Editorial McGraw-Hill. México.

Gutiérrez, Mario. (2001). Administrar para la Calidad: Conceptos administrativos de gestión total de calidad. Segunda edición. México. Limusa, Grupo Noriega.

Hart, S. L. y Milstein, M. B. (2003). Creating sustainable value, doi.org/10.5465/ame.2003.10025194, Academy of Management Executive, Vol. 17(2)

Holden, E., Linnerud, K. y Banister, D. The Imperatives of Sustainable Development. Sustainable Development. 25(3), 213-226.

López Lara, Verónica (2018). Calidad total: una alternativa de gestión para el desarrollo de la producción científica en la educación superior, Revista Científica ECOCIENCIA, Vol. 5, No. 2, abril 2018.

Mesa, D., Ortiz, Y., y Pinzón, M., (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et Technica*. 30, pp. 155 -160

Mostafa Abouei Ardakan and AliZeinal Hamadani. (2014). Reliability optimization of series-parallel systems with mixed redundancy strategy in subsystems, *Reliability Engineering & System Safety*, 130, 132-139

Obando, J.M. Y Yáñez, Sergio. (2005). Datos agregados y desagregados en el análisis de datos de garantía. *Revista EIA*, ISSN 1794-1237. Número 4, p. 43-53. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia)

Olivera L. (2008). Fundamentos de confiabilidad. Curso Control de Calidad en la empresa.

Ossa Gómez, Daniel (2013). La responsabilidad civil en el estatuto del consumidor. Las garantías de calidad, idoneidad, y seguridad de los productos. *Facultad de Derecho y Ciencias Políticas. Estudios de Derecho*, 70, 156.

Pignatiello J.J. (1993). On constructing T2 control chart for on-line process monitoring. *IIE Transactions*, 31:529-536.

Porter, M. E. (2015). Ventaja competitiva: creación y sostenimiento de un desempeño superior. Grupo Editorial Patria.

Ramírez Castaño, Samuel. (2014). Análisis de datos de falla. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales Facultad de Ingeniería y Arquitectura Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación Manizales, Colombia.

Reyes Méndez, M.J., Rodríguez Medina, M.A. y Alvarado, A. Obtención de tiempos de falla con datos de degradación. *Congreso Internacional de Investigación Academia Journals*, Vol. 5, No. 1.

Rodríguez A., Luz Isaura et al. (2012). Análisis Comparativo de los Gráficos de Control Shewhart, CUSUM y EWMA, para Procesos en Condiciones de Control y Fuera de Control. *Congreso Internacional de Investigación, Academia Journals online Juárez*. 4., No. 1, 2012

Rodríguez Pérez, Emilio et al. (2014). Estudio de componentes críticos del sistema de alimentación de vehículos automotores. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*. 18 (1), 65-74.

Sueiro, Guillermo. (2014). ¿Qué es la confiabilidad? *Revista Gestión y Tendencias*. <http://www.industriabebible.com>. Pag. 41. 2014.

Tasama V., J.A., Gómez Estrada, S. y Holguín L., M. (2009). Análisis de confiabilidad aplicado a una conformadora de rollos empleando la técnica de modos de fallo. *Scientia et Technica* 15 (41), 7-12. Universidad Tecnológica de Pereira.

Torres Santa Cruz, Elizabeth M. (2008). Impacto de la gestión de calidad en el rendimiento organizacional de empresas bolivianas. *Investigación & Desarrollo*, 1 (8), 65 – 73.

Uparela Saad, José Manuel. (2013). Medición estratégica cmd en el sistema de vapor

de una planta química en el departamento del Atlántico. Tesis de maestría profundización en Ingeniería, Énfasis Mantenimiento Industrial. Universidad Eafit, Departamento de ingeniería mecánica, especialización en mantenimiento industrial, Medellín.

Villegas, L. I. L., Aguirre, L. J., & Martínez, J. P. (2018). Impacto generado por la implementación de los sistemas de gestión de calidad en el recurso humano, CELEMA SA. Red Internacional de Investigadores en Competitividad, 8(1).

Viveros, Pablo et al. (2016). Modelado estocástico de confiabilidad para activos físicos reparables. Caso de estudio aplicado a la minería chilena. Revista Dyna 91 (4), 423 – 431.

Zapata, Carlos J., (2004). El método de simulación de Montecarlo en estudios de confiabilidad de sistemas de distribución de energía eléctrica. Scientia et Technica. 10 (24), 55 – 60.

Zapata, Carlos J., (2002). Aplicaciones del proceso de Poisson en confiabilidad. Scientia et Technica. No. 20, 171 – 176.

Zertuche Luis, F. y Cantú-Sifuentes, M. (2008). Una comparación del desempeño de las cartas de control T2 de Hotelling y de clasificación por rangos. Ingeniería Investigación y Tecnología. 9 (3), 205-215.