



**METODOLOGÍA PARA IDENTIFICAR Y ANALIZAR LOS COSTOS DE CALIDAD Y DE NO CALIDAD EN UN PROCESO PRODUCTIVO DE CARTÓN CORRUGADO**

**PAOLA ANDREA GONZÁLEZ ESCOBAR  
DASIA YESENIA MOSQUERA CUESTA**

**UNIVERSIDAD ICESI  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI  
2014**



**METODOLOGÍA PARA IDENTIFICAR Y ANALIZAR LOS COSTOS DE CALIDAD Y DE NO CALIDAD EN UN PROCESO PRODUCTIVO DE CARTÓN CORRUGADO**

**PAOLA ANDREA GONZÁLEZ ESCOBAR  
DASIA YESENIA MOSQUERA CUESTA**

**Trabajo de Grado**

**Director  
HELENA MARÍA CANCELADO CARRETERO**

**UNIVERSIDAD ICESI  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI  
2014**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Santiago de Cali (16, 12, 2014)**

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. GLOSARIO .....	4
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	7
2.1. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA .....	7
2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
2.3. ALCANCE DEL TRABAJO DE GRADO.....	12
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	13
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	13
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
4. MARCO DE REFERENCIA.....	14
4.1. MARCO TEÓRICO.....	19
4.1.1. Conceptos de costos de calidad y de no calidad .....	21
4.1.2. Herramientas para la identificación de costos de calidad y de no calidad .....	26
5. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO .....	37
5.1. IDENTIFICACIÓN DE FALLAS POTENCIALES DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	38
5.2. METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE CALIDAD Y DE NO CALIDAD.....	55
5.2.1. Aplicación de los costos PEF e indicadores financieros del sistema de la calidad .....	55
5.2.2. Metodología para la cuantificación de costos de calidad y de no calidad .....	60
5.3. APLICACIÓN DE HERRAMIENTA DE CONTROL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN .....	64
5.4. PRUEBA PILOTO DE LAS HERRAMIENTAS APLICADAS .....	71
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
ANEXOS .....	91

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Costo de Reclamos y de No Conformidades anuales (2011 a 2013). .....	9
Tabla 2. Tabla de causales de reclamos y no conformes que se presentan con mayor frecuencia en el proceso de fabricación de cartón corrugado.....	11
Tabla 3. Revisión de documentos y artículos con temas tratados en referencia al objeto de estudio.....	15
Tabla 4. Comparación de los Gurús de calidad. ....	20
Tabla 5. Resumen de los elementos detallados del costo .....	23
Tabla 6. Metodología para aplicación de DMAIC.....	36
Tabla 7. Comparación de las herramientas utilizadas para la identificación de fallas de procesos. ....	44
Tabla 8. Tabla de Criterios y puntuaciones para la severidad del efecto de la falla. ....	46
Tabla 9. Tabla de Criterios para la calificación de la probabilidad de ocurrencia. ....	46
Tabla 10. Tabla de Criterios para la calificación de la probabilidad de ocurrencia.....	47
Tabla 11. Costos de Prevención, Evaluación y Fallas de la Empresa objeto de estudio. ....	55
Tabla 12. Comportamiento de Fallas Internas en Producción de Enero a Junio de 2014.....	56
Tabla 13. Comportamiento de Fallas Externas en Ventas de Enero a Junio de 2014.....	57
Tabla 14. Margen de Utilidad del Cartón Corrugado.....	58
Tabla 15. Incidencia de los costos de Prevención y Evaluación frente a los costos de ventas. ....	58
Tabla 16. Inversión en el sistema de calidad de la producción. ....	59
Tabla 17. Inversión total en el sistema de la Calidad.....	59
Tabla 18. Comparativo del Indicador FIP Primer Trimestre de 2014 Vs Tercer Trimestre de 2014.....	75
Tabla 19. Comparativo del Indicador FEV Primer Trimestre de 2014 Vs Tercer Trimestre de 2014.....	75
Tabla 20. Comparativo del Indicador Costo de Prevención y Detección. ....	76
Tabla 21. Escenarios objetivos para la reducción de costos de costos de fallas (internas y externas). ....	78
Tabla 22. Comparativo de reclamos y no conformes presentados en los trimestres evaluados. ....	82

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Mapa de procesos Empresa objeto de estudio.....	7
Ilustración 2. Causales de reclamos y no conformidades de Enero a Junio de 2014.....	10
Ilustración 3. Análisis de Modo y Efecto de Fallas.....	27
Ilustración 4. Ejemplo de matriz de casa de la calidad.....	31
Ilustración 5. Metodología usada para desarrollar el trabajo de grado.....	37
Ilustración 6. Diagrama de flujo de línea de producción de cartón corrugado.....	41
Ilustración 7. Fallas potenciales identificadas en las líneas de producción de Empresa objeto de estudio, según etapas del proceso.....	49
Ilustración 8. Causas que representan mayor riesgo en la producción de cartón corrugado.....	50
Ilustración 9. Causas y controles identificados que requieren mayor atención.....	51
Ilustración 10. Tratamientos propuestos para eliminación o reducción de las causas.....	53
Ilustración 11. Metodología para la identificación de las fallas potenciales del proceso productivo.....	54
Ilustración 12. Distribución de los costos PEF de la empresa objeto de estudio.....	56
Ilustración 13. Metodología de identificación de costos PEF a través de AMEF.....	60
Ilustración 14. Matriz de identificación de costos PEF a través de AMEF.....	61
Ilustración 15. Consolidado de matriz de identificación de costos PEF a través de AMEF para las líneas de producción.....	62
Ilustración 16. Metodología para la cuantificación de los costos de calidad y de no calidad.....	63
Ilustración 17. Fallas reportadas con mayor frecuencia de Enero a Junio de 2014.....	65
Ilustración 18. Etapas del Proceso priorizados.....	65
Ilustración 19. Casa de la Calidad Empresa objeto de estudio – Nivel 1.....	66
Ilustración 20. Parámetros técnicos para control del proceso.....	67
Ilustración 21. Casa de la Calidad Empresa objeto de estudio – Nivel 2.....	68
Ilustración 22. Acciones de mejora para prevenir las fallas.....	69
Ilustración 23. Metodología de control del proceso de producción.....	71
Ilustración 24. Política Operativa de revisión de caja de muestra.....	72
Ilustración 25. Fallas potenciales identificadas en las líneas de producción de la empresa objeto de estudio, según etapas del proceso - Prueba piloto.....	74
Ilustración 26. Comportamiento de los costos de fallas con relación a la utilidad neta.....	77
Ilustración 27. Porcentaje de participación de los costos de fallas con relación a la utilidad neta.....	77
Ilustración 28. Causales de Fallas internas de Julio a Septiembre de 2014.....	79
Ilustración 29. % de Participación de Causales Fallas internas de Julio a Septiembre de 2014.....	80

Ilustración 30. Causales de Fallas internas de Julio a Septiembre de 2014..... 80  
Ilustración 31. % de Participación de Causales Fallas Externas de Julio a Septiembre de 2014..... 81  
Ilustración 32. Metodología de control para la aplicación de la prueba piloto. .... 83

## INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, las compañías se han enfocado en garantizar la calidad de sus productos a través de revisiones en las diferentes etapas de sus procesos (adquisición, producción, inspección, almacenamiento, distribución y comercialización), con los cuales buscan el cumplimiento de las especificaciones para satisfacer las necesidades de los clientes.

Sin embargo, en muchas ocasiones estas revisiones se orientan más al cumplimiento de procedimientos y registros con los cuales se evidencia la conformidad de un producto y la entrega de éste al cliente, que a la definición de mecanismos que permitan identificar posibles desviaciones en la cadena de producción, como son la prevención de errores, la evaluación del cumplimiento de las especificaciones, así como la detección de fallas (internas o externas); estos últimos son los que mayor impacto generan puesto que se presentan cuando el producto ya está terminado o se ha enviado al cliente.

Es así como se identifica la necesidad de cuantificar los costos que estas desviaciones representan para las compañías en las diferentes etapas del proceso productivo. Para ello, se seleccionó una empresa del Suroccidente colombiano, dedicada a la fabricación y comercialización de productos de cartón corrugado, la cual tiene distribución a nivel nacional en diferentes sectores como: alimentos, cosméticos, agrícola, farmacéuticos, entre otros. El presente trabajo está orientado a identificar, analizar y cuantificar los costos de calidad y de no calidad que impactan el proceso productivo de cartón corrugado en las diferentes líneas de producción de la empresa objeto de estudio.

En la actualidad el término de costos de calidad y costos de no calidad, no es tenido en cuenta en los estados financieros de las empresas, más aún cuando se empieza a generar la necesidad de identificar las etapas en las cuales un proceso productivo requiere establecer mecanismos de prevención, de evaluación y de control de fallas que permitan la obtención de un producto o servicio según las condiciones esperadas por el cliente. La implementación de un sistema de costos de calidad y de no calidad en cualquier tipo de empresa implica la identificación, validación y cuantificación de los costos en los cuales se incurre por aquellas desviaciones que afectan el producto antes de ser entregado al cliente (fallas internas), o las que se identifican cuando el usuario final ya tiene su producto y/o servicio (fallas externas), estas fallas por supuesto, generan impacto significativo en la operación, pues afectan la imagen ante el cliente y generalmente conlleva a destinar recursos (financieros, operativos y de procesos) adicionales que no han sido contemplados en la planeación.

De igual manera, existen algunos costos como los de prevención o costos de evaluación que se implementan desde el inicio del proceso productivo; los

primeros están orientados a identificar los riesgos que pueden afectar el producto o el proceso, en estos se involucran aspectos como: Conocer lo que cliente requiere, planear adecuadamente las características del producto o servicio a ofrecer según las necesidades del mercado, identificación de los riesgos de los proveedores, planeación de la operación y definir cuáles serán las pautas que determinarán o no la fabricación del producto.

Por lo anterior, el interés de realizar este trabajo de grado surgió de la necesidad evidenciada en una empresa dedicada a la fabricación de cartón corrugado, ubicada en el Suroccidente colombiano, en donde se identificó que no cuenta con una metodología para la clasificación y cuantificación de las causas que están afectando los costos de producción de producto, lo cual generó inquietud en las diferentes áreas de la organización y se convirtió en el objeto central de estudio.

El objetivo central de este trabajo de grado es diseñar una propuesta metodológica orientada a la identificación y análisis de los costos de calidad y de no calidad de una empresa dedicada a la fabricación de empaques de cartón corrugado, para ello, se revisaron las diferentes etapas del proceso productivo en las tres líneas de producción, posteriormente, se hizo un análisis de las principales características de las metodologías que actualmente son utilizadas para la identificación de fallas, considerándose conveniente la utilización de la metodología AMEF, pues por sus características, permite establecer las posibles desviaciones que afectan las etapas del proceso y priorizar sus causas a través de diagrama de Pareto y proponer tratamientos tendientes a disminuir la probabilidad de ocurrencia y mejorar los controles del proceso.

Posteriormente, se presenta una metodología para la cuantificación de los costos de calidad y de no calidad, para lo cual se realizó una clasificación de éstos, teniendo en cuenta los costos de prevención, evaluación y fallas (PEF). Así mismo, con esta metodología se integran los tratamientos propuestos de la matriz AMEF, para clasificar el tipo de costo de los controles actuales y de los tratamientos propuestos y asignar un recurso a cada uno de ellos. De igual manera, se definieron indicadores de calidad enfocados a determinar el impacto que tienen en el proceso productivo.

Una vez se cuantifican los costos de calidad y de no calidad, se procede a aplicar una metodología de control del proceso de producción, que consiste en conocer las especificaciones de las partes interesadas, definidas como “los qué”; con las cuales se elabora las casas de la calidad de nivel 1 y de nivel 2. La de nivel 1 se orientó a relacionar las fallas con los procesos que inciden en las líneas de producción y que fueron críticos en la evaluación del AMEF; mientras que en la de nivel 2 se relacionan los parámetros técnicos que deben ser contemplados para satisfacer las especificaciones del cliente, es decir, “los cómo”. Una vez identificados “los que” se realiza la calificación sobre el nivel de relación de éstos con los componentes especificados en el nivel 1 y en el nivel 2, para identificar los

parámetros que requieren mayor atención y definir las acciones de mejora tendientes a disminuir las causales que presentan mayor frecuencia.

Por último, se realiza una prueba piloto de las metodologías aplicadas evaluando los tratamientos propuestos y los resultados de los indicadores financieros de calidad, de los cuales se analizó su comportamiento.

Al finalizar cada objetivo se elaboró un resumen con el cual se condensan los logros alcanzados, los resultados obtenidos y la metodología aplicada para su ejecución.

## 1. GLOSARIO

**ALETA DE CIERRE DEL FABRICANTE.** Es la extensión de material que permite pegar la primera cara con la última.

**AMEF.** Análisis de Modo y Efecto de Fallas.

**CALIBRE.** Es el espesor o grosor de un objeto.

**CARTÓN CORRUGADO.** Empaque rígido y liviano formado por una o más láminas de cartón corrugado, pegadas o solamente cortadas con o sin impresión.

**CLISES.** La plancha, llamada cliché o placa, es generalmente de foto polímero que, por ser un material muy flexible, es capaz de adaptarse a una cantidad de soportes o sustratos de impresión muy variados.

**COSTOS DE CALIDAD.** Son los costos en los que la empresa incurre para prevenir y controlar que el producto o servicio cumple las especificaciones de calidad. Se originan como consecuencia de la actividad de prevención y evaluación que una empresa debe realizar para garantizar el cumplimiento de las especificaciones de un producto o servicio.

**COSTOS DE EVALUACIÓN.** Son los correspondientes a la medida, evaluación o auditoría de productos o servicios, los cuales deben ser identificados antes de la entrega al cliente.

**COSTOS DE FALLOS EXTERNOS.** Tienen lugar después de la entrega o expedición del producto, o durante o después de proveer el servicio al cliente. También están incluidas las oportunidades perdidas de ingresos de ventas.

**COSTOS DE FALLOS INTERNOS.** Son los costos de imperfecciones descubiertas antes de la entrega, que están asociadas con el fracaso de cumplir con los requisitos explícitos o con las necesidades implícitas de los clientes.

**COSTOS DE NO CALIDAD.** Son aquellos que se derivan de la ausencia de calidad y, por tanto, de los fallos y errores en el diseño, desarrollo y producción, y que puedan trascender o no hasta el cliente o consumidor, estos costos se subdividen en costos de fallas internas y costos de fallas externas.

**DEFECTO CRÍTICO.** Todos aquellos defectos que imposibiliten el uso de la caja.

**DEFECTO MAYOR.** Todos los defectos que estén ligados con la funcionalidad de la caja.

**DEFECTO MENOR.** Defectos que afectan la presentación exterior de la caja.

**COSTOS DE PREVENCIÓN.** Son los costos de todas las actividades específicamente diseñadas para evitar la mala calidad en producto o servicio.

**ESCOR.** Son todas aquellas marcas lineales que se hacen sobre el cartón y que permitirán el plegado de la caja.

**ESPECIFICACIONES.** Se refiere a un documento contractual que describe lo que espera el cliente de parte del contratista.

**FLEXOGRAFÍA.** Es un método de impresión que emplea tintas fluidas de secado rápido, en el que se utilizan clisés flexibles e impresión rotativa.

**FT.** Ficha Técnica donde se consignan las especificaciones de cada referencia a producir.

**GENBA.** Es un término japonés que significa “en el lugar de trabajo”, es el sitio donde tiene lugar la acción real.

**OC.** Orden de compra que se genera para solicitar un producto.

**OP.** Orden de producción donde se registra la programación diaria de producción.

**PARETO.** Establece que unos pocos contribuyentes al costo son responsables de la mayor parte de éste. Entonces, deben identificarse estos pocos contribuyentes vitales para que los recursos de mejoramiento de la calidad puedan concentrarse en esas áreas.

**PEF.** Hace referencia a los costos de prevención, costos de evaluación y costos de fallas (internas y externas), corresponden a la metodología que hasta ahora ha sido universalmente aceptada y utilizada para calcular los tipos de costos de calidad y de no calidad de las empresas de producción y de servicios.

**QFD.** Quality Function Deployment. Despliegue de la Función Calidad. Es una herramienta de planeación que introduce la voz del cliente en el desarrollo y diseño del producto o el proyecto, permite asegurar que “la voz del cliente” sea escuchada a lo largo del desarrollo del proyecto.

**RANURA.** Son los cortes que separan la aleta de cada cara.

**RCV.** Resistencia a la compresión vertical que se mide a una probeta de cartón de medidas de 2”x2”, con el fin de conocer el peso que puede soportar, las unidades en que se mide esta variable es en Kg f / m.

**RPN.** Risk Priority Number. Número de Prioridad de Riesgo. Es el indicador relativo de todas las causas de falla, se calcula multiplicando la puntuación dada a la severidad (S) del efecto de falla, por la probabilidades de ocurrencia (O) para cada causa de falla, y por las posibilidades de que los mecanismos de control detecten (D) cada causa de falla; el resultado de éste permite identificar aquellas causas de fallas que requieren prioridad para iniciar tratamientos propuestos.

**TQM.** Total Quality Management. Es la forma de mejorar continuamente el rendimiento a cada nivel de operación, en cada área funcional de una organización, utilizando todos los recursos humanos y capital disponible.

**VISCOSIDAD.** Es la resistencia que opone un líquido a fluir. Es decir es el tiempo que se demora en fluir un líquido por un orificio. La viscosidad se mide en segundos.

## 2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

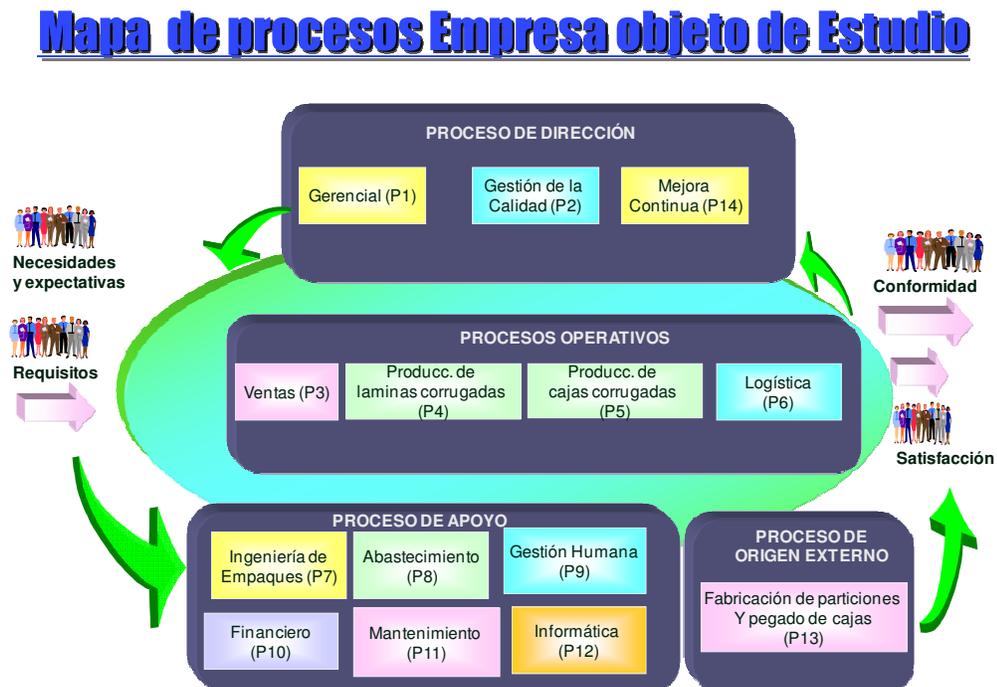
### 2.1. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

La empresa objeto de estudio nace como una iniciativa de integrar verticalmente el negocio de fabricación de liners y corrugados medios de una de las compañías de un Grupo Empresarial; quienes atienden desde 1.968 las necesidades de papeles para la industria de cartón corrugado en Ecuador y varios países de la región Andina. Gracias a la calidad del papel, la empresa se ha ido posicionando en clientes que requerían una mayor resistencia en sus empaques, como son las cajas para exportación de productos.

En el año 2.006 se redireccionaron los enfoques de la compañía para ser un proveedor de soluciones de empaque y logística, desde entonces, el principal indicador de la Empresa es el cumplimiento en las entregas, el cual es medido día a día y pedido a pedido.

Buscando la excelencia y el mejoramiento continuo, a principios del 2.009 se inició el proceso de certificación en ISO el cual tuvo sus frutos a finales de ese mismo año con el otorgamiento, por parte de ICONTEC, de la certificación ISO 9001 en nuestro proceso Productivo y Comercial.

**Ilustración 1.** Mapa de procesos Empresa objeto de estudio.



**Fuente:** Tomado de información de Empresa objetivo de estudio.

Debido a que la empresa obtuvo la certificación ISO 9001, se cuenta con un grado de madurez en la implementación del mismo, sin embargo, la necesidad de la Empresa está enfocada en la mejora continua y evidenciar cómo el sistema de gestión de calidad aporta a la rentabilidad de la organización, situación que se convierte en el problema a desarrollar en el presente trabajo de grado.

De acuerdo con la Ilustración 1 (Mapa de procesos Empresa objeto de estudio), en la actualidad la empresa cuenta con un proceso de Gestión de la Calidad, el cual se ubica dentro de los procesos de dirección de la organización, esto le da un carácter representativo dentro del sistema de gestión de la calidad. Es por esto que este proceso, después de obtener su certificación en ISO 9001:2008, ha logrado desarrollar acciones encaminadas a fortalecer no sólo el sistema de calidad sino de proponer mejoras en sus procesos misionales y de apoyo para orientar la fabricación de cartón corrugado a un nivel de calidad que sea evidenciado por los clientes.

Es así que el proceso de Calidad cuenta en la actualidad un Jefe de Aseguramiento de Calidad, su función básica consiste en planear, coordinar y verificar todas las actividades enfocadas a que los procesos y productos cumplan con las especificaciones establecidas por el cliente y la compañía; buscando siempre la excelencia, para ello, tiene a su cargo un Asistente de Calidad quien es responsable de controlar las diferentes etapas del proceso con el fin de garantizar el producto final fabricado, apoyar las funciones de los Auxiliares y Analista de Calidad garantizando el cumplimiento de las especificaciones del producto semielaborado y terminado; tres Analistas de Calidad uno por turno, quienes se encargan de verificar el cumplimiento de las especificaciones de los productos en procesos, producto terminado y condiciones de máquina; dos Auxiliares de Calidad que se encargan de Asegurar el control de las variables que intervienen en la fabricación del proceso de láminas corrugadas como son: Humedad de papeles y láminas, temperatura de máquina y viscosidad de adhesivo. Por otra parte, la Empresa objeto de estudio cuenta con una Gerencia de Planta donde se ubica la Coordinadora del Sistema Integrado de Gestión y Ambiental, este cargo es el responsable de administrar todos los sistemas de gestión de calidad de la organización (ISO 9001:2008, ISO 14000, ISO 28000, éste último en etapa de implementación), esta área es apoyada por un Auxiliar del Sistema Integrado de Gestión, quien es responsable de la administración del software garantizando su adecuado funcionamiento. En cuanto a la plataforma tecnológica utilizada para la administración del Sistema de Gestión de Calidad, se utiliza el software Binaps Quality, esta herramienta permite el manejo documental de los sistemas integrados de gestión, se lleva control documental, se reportan los resultados de los indicadores de proceso para su posterior análisis y presentación del consolidado a la Gerencia, se lleva control del estado de las no conformidades identificadas en los procesos y las quejas reportadas por los clientes, así como el seguimiento al tratamiento y cierre de las mismas.

De acuerdo con lo anterior, la Empresa objeto de estudio se ve en la necesidad de fortalecer más el sistema de gestión de calidad y el aseguramiento de la calidad del producto, para este último la Gerencia está enfocada en identificar los costos de calidad y de no calidad que se presentan en la fabricación de cartón corrugado en las diferentes líneas de producción, pues en la actualidad no se cuenta con una metodología que permita identificar los costos PEF que impactan no solo la calidad del producto sino la rentabilidad de los mismos; para lograrlo, es necesario involucrar áreas importantes de la Compañía como es la Gerencia Financiera, en donde finalmente reposa la información contable y la clasificación de los costos de la compañía, por tanto, si bien es cierto que en la actualidad no existe una clasificación detallada sobre los costos de calidad y de no calidad en la fabricación del producto, con el desarrollo de este proyecto se podrá iniciar con la clasificación de los tipos de costos que impactan la calidad del producto.

## 2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la empresa está presentando desviaciones en el proceso de fabricación en sus tres líneas de producción de cartón corrugado, que han impactado de manera significativa la calidad del producto, los costos asociados a las devoluciones y producto no conforme, situación que se ve reflejada en los siguientes aspectos que se detallan a continuación:

En los últimos tres años, se ha observado un incremento en el número de no conformidades, relacionadas con la calidad del producto, esta situación ha generado un aumento en los costos que tienen que ver específicamente con la fabricación de cartón corrugado. Al realizar una comparación de los últimos tres años, se detectó que en el período de 2012 frente al 2011 hubo un incremento en el costo de reclamos y no conformidad del 33%, así mismo, en el período de 2013 comparado con 2012 se tuvo un aumento del 18%. De igual forma, para el año 2014 (período de Enero a Junio) se evidenció un incremento significativo en comparación con todo el período de 2013, situación que ha generado alerta en la compañía, debido a que no se ha podido establecer la razón de estos incrementos. A continuación se detallan el número de reclamos y de no conformidades registradas en los años anteriores:

**Tabla 1.** Costo de Reclamos y de No Conformidades anuales (2011 a 2013).

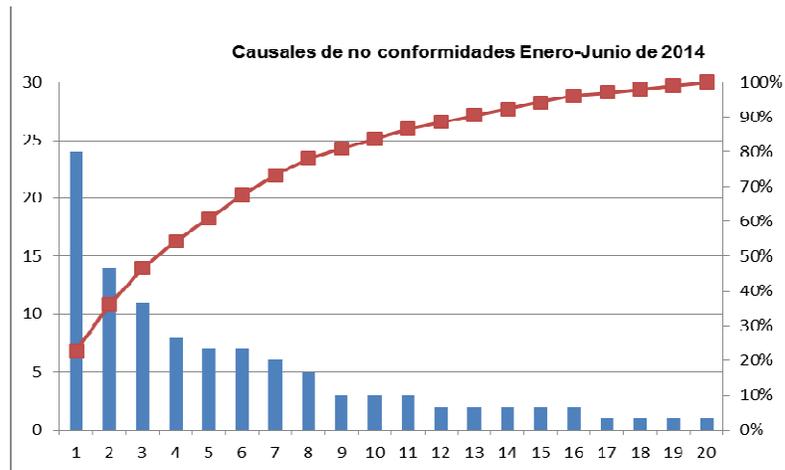
Año	N° Reclamos y No Conformidades	Costo de reclamos y no conformidades
2011	178	\$ 410,506,751
2012	169	\$ 610,477,398
2013	179	\$ 740,906,979

**Fuente:** Tomado de información de Empresa objetivo de estudio.

De igual manera, de acuerdo con la información tomada para el año 2014 en los meses de enero a junio, el número de reclamos y de no conformidades fue de 105, los cuales representaron un costo de \$862.293.040, lo que muestra un incremento significativo con respecto al año inmediatamente anterior.

Así mismo, al realizar un análisis de las causas que están generando esta situación en el proceso, se identificaron las siguientes circunstancias que pueden estar afectando la calidad del producto.

**Ilustración 2.** Causales de reclamos y no conformidades de Enero a Junio de 2014.



**Fuente:** Tomado de información de Empresa objetivo de estudio.

La ilustración anterior muestra que de los 20 causales de reclamos y no conformes identificados, 9 de ellas representan el 80% de situaciones a intervenir con prioridad y son las que presentan mayor costo (Ver Tabla 2 Tabla de causales de reclamos y no conformes que se presentan con mayor frecuencia en el proceso de fabricación de cartón corrugado).

**Tabla 2.** Tabla de causales de reclamos y no conformes que se presentan con mayor frecuencia en el proceso de fabricación de cartón corrugado.

<b>N°</b>	<b>Causales de reclamos y no conformes</b>	<b>Frecuencia (und)</b>	<b>Costo de Reclamos y No Conforme</b>
1	<b>Aleta Despegada</b>	<b>24</b>	<b>\$197.095.552</b>
2	<b>Faltantes de caja por paquete</b>	<b>14</b>	<b>\$114.972.405</b>
3	<b>Falta de cambio de texto/impresión</b>	<b>11</b>	<b>\$90.335.461</b>
4	<b>Caja descuadrada/paralelismo</b>	<b>8</b>	<b>\$65.698.517</b>
5	<b>Dimensiones distintas a las especificadas</b>	<b>7</b>	<b>\$57.486.203</b>
6	<b>Pegue entre cajas</b>	<b>7</b>	<b>\$57.486.203</b>
7	<b>Escores mal definidos</b>	<b>6</b>	<b>\$49.273.888</b>
8	<b>Profundidad de ranura</b>	<b>5</b>	<b>\$41.061.573</b>
9	<b>Referencias combinadas en un mismo paquete</b>	<b>3</b>	<b>\$34.987.064</b>
10	Amarres flojos	3	\$26.482.532
11	Impresión descentrada	3	\$23.567.890
12	Material Mezclado	2	\$16.424.629
13	Baja tonalidad de color	2	\$15.879.405
14	Fractura de escores externos	2	\$14.789.567
15	Blanqueo en la impresión	2	\$13.678.543
16	Desalineación de escores longitudinales	2	\$12.987.098
17	Fractura de escores internos	1	\$8.212.315
18	Impresión repisada	1	\$7.658.905
19	Tinta diferente a la especificada	1	\$7.234.500
20	Impresión fuera de registro	1	\$6.980.789
	<b>Total general</b>	<b>105</b>	<b>\$862.293.040</b>

**Fuente:** Tomado de información de la Empresa objetivo de estudio.

Según la información consolidada, la causal que está generando mayor incidencia en los reclamos y no conformidades es el de aleta despegada, el cual se puede estar presentando debido a la falta de limpieza del sistema de aplicación de adhesivo, pues la acumulación de goma (pegante) impide la salida de éste a través de los orificios. De igual manera, se puede generar por el desperdicio de cartón que es arrastrado por el ventilador sobre los orificios de aplicación o pueden ser ocasionados por un paro inesperado de la máquina, donde las cajas producidas no fueron retiradas oportunamente por los operarios que revisan en la salida de las líneas de producción.

Otro aspecto significativo que está afectando actualmente la calidad del producto es la cantidad de faltantes de cajas en los paquetes, es decir, se envía al cliente una cantidad de unidades por paquetes menores a las especificadas por éste, alterando la confiabilidad en los clientes sobre el producto entregado. Esta situación se puede estar presentando por daño en el contador electrónico de las cajas, por una programación inadecuada del contador por parte del operador de la máquina, o debido a retiro de cajas en el área de revisión por daños o averías, las cuales no se reponen para completar el paquete.

En cuanto a la causal de falta de cambio de texto / impresión, ésta se puede estar presentando por una lectura inadecuada del operador y/o el analista de calidad cuando se procesa la caja y se compara con la ficha técnica, o que en el área de prelistamiento se prepare un montaje de los clisés con textos diferentes a la ficha técnica aprobada; de igual manera, puede generarse debido a que el montaje realizado por el Prelistador no se aseguró adecuadamente sobre la lona, ocasionando que con los movimientos circulares de la máquina algunos de estos textos se caiga o, finalmente, esta causal se puede estar presentando por desgaste de los clisés.

Con base en lo anterior, las causas identificadas para los defectos que se presentan actualmente con mayor frecuencia sirven como punto de partida para establecer las acciones que conlleven a la eliminación o mitigación de los reclamos o no conformidades; sin embargo es claro que la empresa objeto de estudio no cuenta con una metodología ni un método que permita clasificar y cuantificar los costos de calidad y no calidad del proceso productivo de cartón corrugado en todas sus líneas.

De acuerdo con lo anterior, se considera necesario definir una metodología para identificar en cada línea de producción las causas que están generando desviaciones en la fabricación de cartón corrugado en la empresa objetivo, así como la definición de un método para clasificar y cuantificar los costos de calidad y de no calidad, de manera que se mejore el proceso de producción.

Por lo anterior, surge la inquietud de abordar el siguiente problema de investigación: ¿Qué metodología definir para la identificación y análisis de los costos de calidad y de no calidad en un proceso productivo de cartón corrugado?

### **2.3. ALCANCE DEL TRABAJO DE GRADO**

En este proyecto se establece como alcance el diseño de una metodología para la identificación y priorización de fallas potenciales en un proceso de producción de cartón corrugado, así como la clasificación y cuantificación de los costos de

calidad y no calidad asociados a las tres líneas de fabricación en la empresa objeto de estudio.

Para el desarrollo de este trabajo se hace una revisión de las metodologías existentes, las cuales son el punto de partida para la identificación de fallas del proceso productivo, se establecen los indicadores financieros de calidad, se recopilan las necesidades del cliente frente a las especificaciones del producto a través de la matriz QFD (Nivel 1 y Nivel 2), se analizan las causas y se generan tratamientos o acciones de mejora para prevenir las fallas.

Finalmente, a través de la prueba piloto se desarrollan las metodologías y se analizan los resultados para comprobar su eficacia.

Es de aclarar que la matriz QFD a utilizar en este trabajo de grado sólo contiene la información de los requisitos del cliente y los parámetros técnicos, con el fin de fortalecer los procesos internos de la compañía y de esta manera construir la línea de base que permita en otra fase de proyecto evaluar cómo se encuentra la empresa frente a la competencia.

### **3. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una propuesta metodológica orientada a la identificación y análisis de los costos de calidad y de no calidad, para mejorar el proceso productivo de empaques de cartón corrugado.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir una herramienta para la identificación de las fallas potenciales que afectan el proceso productivo de cartón corrugado.
- Proponer una metodología para la cuantificación de los costos de calidad y de no calidad en un proceso productivo.
- Aplicar una herramienta de control del proceso de producción, que conduzca a la reducción de fallas.
- Realizar una prueba piloto de las herramientas determinadas y analizar los resultados.

#### 4. MARCO DE REFERENCIA

En el mundo empresarial, un factor importante de gestión es conocer cuál es el costo de fabricar un producto o servicio competitivo para ofrecer en el mercado, esto hace que las empresas desarrollen metodologías que les permita identificar los costos de calidad y de no calidad según las condiciones establecidas por el cliente, acorde con la competencia, los requerimientos legales y normativos, así como los factores que generen rentabilidad para las organizaciones. Estos conceptos han recibido diferentes significados que hacen referencia a los costos de calidad, como por ejemplo: costos de lograr la calidad, costos extras por mala calidad, costos por mala calidad, costos ocultos de calidad, costos asociados a la calidad, entre otros.

Los primeros autores que reconocieron los costos de calidad fueron Miner y Crockett en la década de los 30, pero solo hasta finales de los años cincuenta y comienzos de los sesenta cuando diversos autores muestran un creciente interés sobre este tema<sup>1</sup>.

Es así como en la década de los años 50 surgió el concepto de costos de la calidad y los costos de la mala calidad, a partir de allí se presentaron diferentes definiciones sobre el tema para llevar a cabo proyectos de mejoramiento empresarial; los cuales han permitido establecer los costos de calidad y de no calidad en diferentes etapas, este último es el término que será utilizado para el desarrollo de este documento.

De igual forma, se han dado diversas definiciones a los costos de calidad y de no calidad. Los primeros tienen que ver con los costos en los que la empresa incurre para la obtención de la calidad, son controlables por la empresa, ya que ella es quien decidirá cuánto se gasta en prevenir y evaluar la calidad de lo que se produce. Mientras que los costos de no calidad son los motivados por la falta de calidad de los productos, no son controlables directamente por la empresa, ya que son causados por errores o fallos en los productos o servicios<sup>2</sup>.

Con el fin de conocer qué aplicaciones se han desarrollado en diferentes empresas respecto a los costos relacionados con la calidad, se encontraron trabajos y documentos con temas tratados en referencia al objeto de estudio, estos se resumieron en la siguiente tabla:

---

<sup>1</sup> Climent Serrano, S. (2005). Clasificación de los costes de calidad en la gestión de la calidad total. Partida Doble, (171), 88 – 97.

<sup>2</sup> Ibíd.

**Tabla 3.** Revisión de documentos y artículos con temas tratados en referencia al objeto de estudio.

Nº	Nombre del Trabajo / Documento	Objetivo General	Logros / Características
1	Influencia de los costos de calidad como factor estratégico en los niveles de competitividad de las empresas fabricantes de envases de aluminio (período 2009-2010) <sup>3</sup>	Determinar la influencia de los costos de calidad como factor estratégico en los niveles de competitividad de las empresas fabricantes de envases de aluminio, enfocó su investigación en conocer la influencia de éstos en el proceso transformación de láminas de aluminio en envases y latas, para luego ser distribuidos a los clientes.	Se llevó a cabo la revisión de los procesos de producción en dos empresas del sector, de éstas se identificaron las diferencias del proceso productivo de cada una; finalmente, el trabajo concluye que las empresas objeto de estudio tienen altos de costos de calidad y volúmenes regulares en fallas, sin embargo, evidenció el manejo de procedimientos para actualizar los criterios de aceptación y rechazo de los productos.  <b>Resultado:</b> Aunque se presenta un acercamiento a los costos de calidad y de no calidad a través de una operacionalización de las variables, en este trabajo no se presenta una metodología que permita orientar a la cuantificación de los costos de calidad y de no calidad.
2	Clasificación de los costos de calidad en la gestión de la calidad total <sup>4</sup>	Resaltar la importancia de los costos de calidad, entrando en el fondo de su definición para plantear una clasificación más profunda y extensa en donde se puedan clasificar los costes de calidad.	En este documento se recopila información con la cual se clasifican los costos de calidad y de no calidad (PEF).  <b>Resultado:</b> No se presenta una metodología que permita cuantificar los costos de calidad. No se presentan ejemplos prácticos de aplicabilidad, se queda en la conceptualización.
3	Diseño de una metodología para el cálculo de los costos de calidad <sup>5</sup>	Se estableció una metodología para el cálculo y análisis de los costos de calidad y a partir de ésta se pudo calcular y analizar los costos PEF.	En este documento se plantea: 1- Conocimiento de los diferentes elementos que integran los costos de calidad (PEF), 2- Análisis de las diferentes actividades relacionadas con la calidad en cada una de las áreas de la empresa, 3- Identificación de los gastos que

<sup>3</sup> Peña, E. (2010). *Influencia de los costos de calidad como factor estratégico en los niveles de competitividad de las empresas fabricantes de envases de aluminio (período 2009-2010)* (tesis de maestría). Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”. Barquisimeto, Venezuela.

<sup>4</sup> Climent Serrano, S. (2005). *Clasificación de los costes de calidad en la gestión de la calidad total*. Partida Doble, (171), 88 – 97.

<sup>5</sup> Oña A., N.; Cañamero S., Ivis, P.; Díaz de Armas, M.; Domínguez C., H; Álvarez M., M. (1998). *Diseño de una metodología para el cálculo de los costos de calidad*. 32 (2), 113-119.

Nº	Nombre del Trabajo / Documento	Objetivo General	Logros / Características
			<p>generan cada actividad, 4- Análisis de la información ya existente en la empresa, 5- Identificación de la nueva información, 6- Organización de la recopilación de información, 7- Realización de las tareas de capacitación, 8- Cálculo de los costos de calidad, 9- Análisis de los costos de calidad.</p> <p><b>Resultado:</b> Proponen una metodología más aterrizada para la identificación, clasificación de los costos de calidad y no calidad, utilizan la herramienta AMEF, sin embargo, no se proponen indicadores que permitan medir el impacto que tienen los costos PEF en el costo de ventas.</p>
4	Propuesta metodológica para la reducción de desperdicios en la empresa "US Technologies" <sup>6</sup>	Diseñar una metodología para la reducción de desperdicios, con base en la revisión teórica de los métodos y herramientas para la reducción de desperdicios, con el fin de minimizar los costos de las fuentes de procesamiento y generación de los desperdicios en la empresa US Technologies.	<p>Este trabajo fue centrado en la eliminación de desperdicios presentes en el proceso de producción, se plantean modelos de simulación para establecer el costo beneficio de un proceso de mejora.</p> <p><b>Resultado:</b> Tema no relacionado con el objeto del proyecto.</p>
5	Modelo PEF de costes de la calidad como herramienta de gestión en empresas constructoras: una visión actual <sup>7</sup>	Se plantea un modelo de costos de calidad a través de PEF, aplicable a una empresa del sector de la construcción.	<p>Este documento presenta una estimación de los costos de calidad, en el cual se identifican los rubros que componen cada uno de los tipos de costos de calidad y no calidad (PEF).</p> <p><b>Resultado:</b> Este documento tiene un acercamiento significativo frente a lo que se pretende desarrollar con este trabajo de grado, pues clasifica y cuantifica los costos de calidad y de no calidad que posteriormente</p>

<sup>6</sup> Aguilar, A., & Alonso, E. (2011). *Propuesta metodológica para la reducción de desperdicios en la empresa "US Technologies"* (Doctoral dissertation).

<sup>7</sup> Gracia Villar, Santos; Dzul López, Luis A. (2007). *Modelo PEF de costes de la calidad como herramienta de gestión en empresas constructoras: una visión actual*. Universidad Politécnica de Cataluña.43 – 56.

Nº	Nombre del Trabajo / Documento	Objetivo General	Logros / Características
			son agrupados en dos grandes rubros (costos normales sin anomalías y costos resultantes de la no calidad).
6	Diseño de una estrategia de productividad para el área de operaciones de una industria farmacéutica mexicana <sup>8</sup>	Diseñar una estrategia para una empresa farmacéutica mexicana, con base en un modelo de productividad y calidad (Kaizen), con la finalidad de reducir el costo unitario de producción en el área de operaciones farmacéuticas.	En este trabajo de grado se propone la verificación del flujo de proceso productivo de diferentes productos, para determinar cuál de ellos es un producto modelo, con base en ello, se proponen indicadores operacionales que permiten calcular el dinero invertido en procesos de valor.  <b>Resultado:</b> Aunque en este documento se contempla información importante relacionada con los costos, su cuantificación no se enfoca a los costos PEF sino a costos de operacionales de producción, ciclo de proceso y capacidad de proceso.
7	Optimización de la gestión del costo de producción en una compañía láctea <sup>9</sup>	Crear una herramienta que permita controlar y gestionar oportunamente los factores que impactan el costo de producción del área de fabricación de lácteos.	Este trabajo centra su desarrollo en la identificación de los costos ABC, se presentan herramientas de análisis de datos.  <b>Resultado:</b> Este trabajo de no brinda apoyo conceptual ni teórico al desarrollo del presente proyecto, debido a que están orientados a sistemas de costos completamente diferentes.
8	Diseño de una estructura de costos para los pequeños productores de banano en el departamento del Magdalena <sup>10</sup>	Diseñar una herramienta metodológica que permita a los pequeños productores del Departamento del Magdalena determinar la estructura de costos y el costo de producción de una caja de banano de exportación por	En este documento se contempla la identificación del proceso productivo del banano y de los costos operacionales que afectan el proceso.  <b>Resultado:</b> Aunque es una propuesta para la

<sup>8</sup> Sierra, R., (2010). *Diseño de una estrategia de productividad para el área de operaciones de una industria farmacéutica mexicana* (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.

<sup>9</sup> Villegas M., J. (2011). *Optimización de la Gestión del Costo de Producción en una Compañía Láctea* (tesis de maestría). Universidad ICESI, Colombia.

<sup>10</sup> BI, V. T., (2008). *Diseño de una estructura de costos para los pequeños productores de banano en el departamento del Magdalena: aplicación en la Cooperativa Asobanar* (tesis de maestría). Fundación Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.

Nº	Nombre del Trabajo / Documento	Objetivo General	Logros / Características
		regiones y por tamaño de la unidad productiva.	estructura de costos, éstos no se encuentran establecidos bajo costos de calidad y de no calidad.
9	La importancia del control de los costes de la no-calidad en la empresa <sup>11</sup>	Proponer un nuevo modelo de costos de calidad y de no calidad basado en el modelo PEF.	<p>Se realiza un análisis de los costos de calidad (Prevención y Evaluación) y los costos de no calidad (Fallas internas y externas) mediante información recopilada a través de diferentes encuestas. En este estudio se identificó que 182 empresas empiezan a obtener ahorros de costos sólo hasta el cuarto año, que estas empresas calculan el 43% de fallas internas, el 36% de fallas externas, el 25% de prevención, 22% de evaluación y sólo el 13% calculan los cuatro.</p> <p><b>Resultado:</b> Este estudio propone un cambio significativo en el modelo clásico de los costos PEF; según los autores, el modelo actual afirma que llegando a un nivel de perfección, los costos incurridos en prevención y evaluación serían mayores que los ahorros conseguidos en la reducción de defectos. Con el modelo de costos actualizado, los autores proponen realizar control de los costos de calidad y de calidad a través de la valoración de los costos y beneficios de los proyectos de mejora, sin embargo, este modelo resulta complejo desde su abordaje estadístico, requiere la implementación de un desarrollo tecnológico que consolide en detalle toda la información de los proyectos.</p>

Fuente: Los autores.

<sup>11</sup> Cebolla, A. r. C., Gil-Lafuente, A. M., & Lindahl, J. M. M., (2014). *La importancia del control de los costes de la no-calidad en la empresa*. (Nº XREAP2014-03).

Realizada la revisión de los documentos y artículos relacionados con temas tratados en referencia al objetivo de estudio, se estableció que de los 9 artículos revisados sólo se encontró que 3 de ellos (es decir el 33%) contienen información relacionada con el objetivo a lograr en este trabajo, sin embargo, sus contenidos no se enfocan hacia una orientación metodológica para cuantificar los costos de calidad de las empresas y los impactos financieros y económicos que los costos PEF se presentan en cualquier organización.

#### **4.1. MARCO TEÓRICO**

Ahora bien, una vez revisado el marco de referencia que relaciona los conceptos de costos de calidad y de no calidad en un contexto práctico y que darán aporte al desarrollo de este trabajo, se establece que no existe una metodología claramente definida que permita la identificación y tratamiento de los mismos en un proceso determinado. Sin embargo, si bien es cierto, Campanella, J (1992) propone unos elementos importantes a considerar para la identificación de los costos PEF, no brinda orientación respecto a las diferentes etapas que se deben contemplar para su implementación.

Los diferentes autores, metodologías y/o herramientas que se presenta a continuación, brindan sólidas bases conceptuales para aplicarlas según el contexto y el escenario que se considere en la empresa objetivo de estudio. Por tanto, el aporte que se dará en el trabajo de grado es la utilización de diferentes conceptos aprendidos que podrán aplicarse no sólo en el ámbito productivo sino de cualquier sector.

Ahora bien, las exigencias del consumidor y el crecimiento del factor competitividad obligaron a las organizaciones a mejorar sus procesos, productos y servicios para atender las necesidades de un mercado dinámico y de consumidores cada vez más exigentes. Este factor diferenciador, se manifiesta en la búsqueda incesante de mayor participación en el mercado, el cual se puede lograr a través de la implementación de programas de calidad, orientados a la disminución de costos de no calidad y fortalecimiento de los costos de calidad.

Esto hizo que los líderes filosóficos del movimiento de calidad, sobre todo Philip Crosby, W. Edwards Deming y Joseph M. Juran, los llamados gurús de la calidad, definieran la calidad y cómo obtenerla de manera un poco diferente (Ver Tabla 4 Comparación de los Gurús de calidad), aunque todos transmiten el mismo mensaje: para lograr una calidad sobresaliente se requiere liderazgo de buena

calidad de la alta dirección, enfoque en el cliente, participación total de la mano de obra y mejora continua basada en un análisis riguroso de los procesos<sup>12</sup>.

**Tabla 4.** Comparación de los Gurús de calidad.

Definiciones	CROSBY	DEMING	JURAN
Definición de calidad	Conformidad con los requisitos	Grado predecible de uniformidad y dependencia con costos bajos y adecuados para el mercado	Idoneidad de uso (satisface las necesidades del cliente)
Grado de responsabilidad de la alta dirección	Responsable de la calidad	Responsable de 94% de los problemas de calidad	Menos del 20% de los problemas de calidad se debe a los trabajadores
Estándar de desempeño / motivación	Cero defectos	La calidad tiene muchas "escalas", el desempeño de todas las áreas se mide con estadísticas; crítico de cero defectos	Evitar campañas para hacer un trabajo perfecto
Planteamiento general	Prevención, no inspección	Reducir la variabilidad mediante la mejora continua; suspensión de la inspección en masa	Planteamiento general de administración de calidad; en especial los elementos humanos
Estructura	14 pasos para mejorar la calidad	14 puntos para la administración	10 pasos para la mejora de la calidad
Control Estadístico de Proceso (CEP)	Niveles de calidad de rechazos estadísticamente aceptables (se desea 100% de calidad perfecta)	Se deben usar métodos estadísticos de control de calidad	Recomienda el CEP pero advierte que puede generar un planteamiento basado en herramientas
Base para la mejora	Un proceso, no un programa; metas de mejoras	Continuidad para reducir la variación; eliminar metas sin métodos	Planteamiento de equipo por proyecto; establecer metas
Trabajo en equipo	Equipos de mejoramiento de calidad; consejos de calidad	Participación de los empleados en las decisiones; derribar barrera entre departamentos	Planteamiento de equipo y círculo de calidad
Costos de la calidad	Costo de no conformidad; la calidad es gratis	Menos que óptimo; mejora continua	La calidad no es gratis, no hay un punto mejor
Compras y bienes recibidos	Requisitos estatales; el proveedor es la extensión de la empresa; la mayoría de las fallas se debe a los compradores mismos	Inspección demasiado tardía; el muestreo permite que los defectos entren en el sistema; se requiere evidencia estadística y gráficas de control	Los problemas son complejos; se realizan encuestas formales
Calificación del vendedor	Sí; las auditorías de calidad son inútiles	No, es crítico de la mayoría de los sistemas	Sí, pero se debe ayudar a que el proveedor mejore

**Fuente:** Jacobs, F. R.; Chase R. B. (2009). *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros*: México, México D.F: Mc Graw Hill, p. 283.

Después de revisar cada una de las definiciones planteadas por los diferentes autores de la calidad, se considera que Crosby define los componentes de calidad de forma absoluta, sin dar lugar a posibles errores y fallas en las diferentes etapas del proceso, sin embargo, se debe es importante resaltar que todo proceso presenta desviaciones por más controlado que se encuentre, debido a que éstos son ejecutados en su mayoría por personas que operan las máquinas y/o los procesos.

<sup>12</sup> Jacobs, F. R.; Chase R. B. (2009). *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros*: México, México D.F: Mc Graw Hill, p. 283.

Por su parte, Deming da lugar a la variabilidad de los procesos debido a que son ejecutados por personas, por tanto, plantea la definición de metas que sean posibles de medir, basadas en hechos y datos, así mismo, considera que las variaciones del proceso se centran en el sistema o método y no en quien lo opera.

Así mismo, Juran plantea el trabajo en equipo a todo nivel desde la alta dirección hasta los niveles de operación para lograr la calidad, sus planteamientos se basan en la planificación, el control y el mejoramiento. Propone que para tener mejor calidad en un producto este cuesta más.

Ahora bien, un componente importante que se debe considerar para la gestión de calidad son los costos asociados a la calidad; según Campanella, 1992: “estos son una medida de los costos relacionados directamente con el logro o no de la calidad del producto o servicio establecidos por una empresa con sus clientes y/o proveedores”. Lo anterior indica que los costos de calidad de una empresa reflejan la calidad del producto o servicio ofrecido al cliente, en otras palabras, el costo de una mala calidad se manifiesta en pérdidas financieras para la empresa, en falencias de la capacidad de un proceso para brindar la garantía y satisfacción que el cliente espera.

Por tanto, si una empresa no establece medidas para identificar y controlar las desviaciones de sus procesos, así como su competencia, proveedores y todo su clúster, se deja de lado la oportunidad de mejorar los procesos y por consiguiente el producto, afectando de esta manera la economía de todo un sector.

#### **4.1.1. Conceptos de costos de calidad y de no calidad**

Los costos de la calidad no reflejan todos los gastos necesarios para generar la calidad, sino aquellos costos relacionados con la calidad que son fácilmente accesibles, los cuales representan solamente una parte de todos los costos imaginables para la calidad y su aseguramiento. Esto significa que los costos de la calidad no son un parámetro para caracterizar la calidad de los productos y servicios o su nivel de calidad y aceptación en los mercados (Guillezeau B., P y Romero, S, 2004). Según Evans (2008), “el concepto de costo de calidad surgió en la década de 1950, a partir de allí, se empezaron a generar informes que se limitaban a la inspección y las pruebas, otros costos se acumulaban en las cuentas de gastos administrativos”.

Feigenbaum, en 1974 propuso un modelo que permitiera analizar el costo de la calidad, supone que los costos correspondientes a los cambios en la calidad pueden ser divididos en tres categorías, los cuales son conocidos a través de la sigla PEF (Prevención, Evaluación, Falla).

Para iniciar, es necesario que se identifiquen las fallas que pueden estar afectando el proceso productivo, la calidad del producto, la entrega al cliente según los requisitos establecidos, entre otros. Cuando no se cuenta con información detallada, se puede iniciar con la identificación de las pequeñas variables que están generando la mayor parte de los problemas, es decir, el principio de Pareto (Principio de Juran). Es muy probable que gran parte de los datos necesarios ya se tengan disponibles, así que es importante identificar algunos costos que estén ocultos en cuentas grandes. Esto suele presentarse frecuentemente en las empresas, más aún cuando no tienen un sistema de gestión basado en costos de calidad y de no calidad, por tanto, es necesario tener cuidado en identificar por ejemplo, costos de reprocesos incluidos en las cuentas de los costos operativos normales.

El siguiente paso es identificar cuáles son las fuentes de información disponibles para identificar y cuantificar los costos, por ejemplo: informes de no conformidad, reclamaciones de garantías, producto no conforme, paradas de la producción por falla de maquinaria, procedimientos que no se están cumpliendo por parte de los operarios, controles de calidad no ejecutados, entre otros. Para ello, se puede clasificar los diferentes costos según la fuente de información, de manera que sean identificados como costos de prevención, evaluación o de falla (costos PEF).

A continuación se presenta un resumen de los elementos detallados de los costos (Campanella, 1992):

**Tabla 5. Resumen de los elementos detallados del costo**

1. Costos de Prevención	2. Costos de Evaluación
<p>1.1. Marketing / Cliente / Usuario</p> <p>1.1.1. Investigación de Marketing</p> <p>1.1.2. Encuestas / Consultas de la percepción del cliente / usuario</p> <p>1.1.3. Revisión de contratos / documentos</p> <p>1.2. Desarrollo del producto / servicio</p> <p>1.2.1. Revisiones de los progresos del diseño de la calidad</p> <p>1.2.2. Actividades de apoyo de diseño</p> <p>1.2.3. Ensayo de homologación del diseño del producto</p> <p>1.2.4. Diseño del servicio – Homologación</p> <p>1.2.5. Pruebas en servicio</p> <p>1.3. Costos de prevención de compras</p> <p>1.3.1. Revisiones de proveedores</p> <p>1.3.2. Clasificación de proveedores</p> <p>1.3.3. Revisiones de los datos técnicos de pedidos</p> <p>1.4. Planificación de la calidad de operaciones</p> <p>1.4.1. Costos de prevención de operaciones (fabricación o servicio)</p> <p>1.4.2. Planificación de la calidad de operaciones: Diseño y desarrollo para medir la calidad y de control</p> <p>1.4.3. Planificación de calidad del apoyo a operaciones</p> <p>1.4.4. Educación para la calidad de los operarios</p> <p>1.4.5. Control del proceso por operario</p> <p>1.5. Administración de la calidad</p> <p>1.5.1. Salarios administrativos</p> <p>1.5.2. Gastos administrativos</p> <p>1.5.3. Planificación del programa de calidad</p> <p>1.5.4. Informes del comportamiento de la calidad</p> <p>1.5.5. Educación para la calidad</p> <p>1.5.6. Mejora de la calidad</p> <p>1.5.7. Auditorías del sistema de calidad</p> <p>1.6. Otros costos de prevención</p>	<p>2.1. Costos de evaluación de compras</p> <p>2.1.1. Inspección y ensayos en recepción o entrada</p> <p>2.1.2. Equipo de medida</p> <p>2.1.3. Homologación del producto del proveedor</p> <p>2.2. Costos de evaluación de operaciones (fabricación o servicio)</p> <p>2.2.1. Operaciones, inspecciones, ensayos y auditorías planificadas: Comprobación de mano de obra, auditorías de calidad del producto o servicio, inspección y ensayo de materiales</p> <p>2.2.2. Inspección y ensayo de preparación</p> <p>2.2.3. Ensayos especiales (fabricación)</p> <p>2.2.4. Medidas de control del proceso</p> <p>2.2.5. Apoyo de laboratorio</p> <p>2.2.6. Equipo de medida (inspección y ensayos): Provisiones para amortización, gastos del equipo de medida, mano de obra de mantenimiento y calibración</p> <p>2.2.7. Avaes y certificaciones externas</p> <p>2.3. Costos de evaluación externos</p> <p>2.3.1. Evaluación del funcionamiento en servicio</p> <p>2.3.2. Evaluaciones especiales de productos</p> <p>2.3.3. Evaluación de existencias en servicio y recambios</p> <p>2.4. Revisión de los datos de ensayos e inspección</p> <p>2.5. Evaluaciones de calidad</p>

3. Costos de Fallas Internas	4. Costos de Fallas Externas
<p>3.1. Costos de fallas (internas) del diseño del producto / servicio</p> <p>3.1.1. Acción correctiva del diseño</p> <p>3.1.2. Reprocesos debidos a cambios de diseño</p> <p>3.1.3. Desechos debidos a cambio de diseño</p> <p>3.1.4. Costos de coordinación de producción</p> <p>3.2. Costos de fallos de compras</p> <p>3.2.1. Costos de la disposición de los materiales adquiridos y rechazados</p> <p>3.2.2. Costos de sustitución de materiales adquiridos</p> <p>3.2.3. Acción correctiva del proveedor</p> <p>3.2.4. Reproceso de los rechazos del proveedor</p> <p>3.2.5. Pérdidas de materiales incontrolados</p> <p>3.3. Costos de los fallos de operaciones (producto o servicio)</p> <p>3.3.1. Costos de revisión de material y acción correctiva: Costos de disposición, costos del análisis de fallos o hacer frente a anomalías, costos de apoyo a investigación, acción correctiva de operaciones</p> <p>3.3.2. Costos de reparación y reproceso de operaciones: Reprocesos, reparaciones</p> <p>3.3.3. Costos de repetición de inspección / ensayos</p> <p>3.3.4. Operaciones extra</p> <p>3.3.5. Costos de desechos de operaciones</p> <p>3.3.6. Producto final o servicio degradado</p> <p>3.3.7. Pérdidas de mano de obra de fallos internos</p> <p>3.4. Otros costos de fallas internas</p>	<p>4.1. Investigación de reclamaciones / servicio al cliente o usuario</p> <p>4.2. Devoluciones</p> <p>4.3. Costos de reconversión: Costos de retirada</p> <p>4.4. Indemnización por garantía</p> <p>4.5. Costos de responsabilidad</p> <p>4.6. Penalizaciones</p> <p>4.7. Buena voluntad con el cliente / usuario</p> <p>4.8. Pérdida de ventas</p> <p>4.9. Otros costos de fallas externas</p>

**Fuente:** Campanella, J. (1992). Principios de los costes de la calidad. Madrid, España: Díaz de Santos S.A, Apéndice B.

La anterior tabla permite identificar y clasificar los costos que puedan afectar el proceso productivo, una vez establecidos se inicia la cuantificación de los mismos para determinar su impacto.

Para la clasificación de los costos debe tenerse en cuenta aspectos como:

- Codificación asignada al costo identificado.
- Tipo de costo (prevención / detección / fallo interno / fallo externo), la Tabla 5 brinda una orientación para una adecuada clasificación del costo.
- Fuente de información, por ejemplo “partes de garantía”.
- Método de medida, por ejemplo “costo de las piezas de repuesto utilizadas en la reparación más mano de obra calculada al costo salarial medio de mecánico”.
- Bases para relativizar el costo, de modo que sea comparable a lo largo del tiempo, por ejemplo “número de unidades producidas”.
- Centro de costos y responsable del centro de costos, por ejemplo: “Área de Producción”<sup>13</sup>. (Rojas, Ruiz, 2009).

Una vez identificados y clasificados los costos de calidad y de no calidad, se inicia una etapa de análisis de la información para determinar en dónde se presenta el número de oportunidades de ajuste y que produzca a su vez resultados rápidos y significativos. Para garantizar una probabilidad elevada de éxito, el área o la línea de producción seleccionada para la prueba piloto debería tener en cuenta los siguientes aspectos como: Ser típica en la operación de la compañía, contener costos de todas las categorías de las medidas de los costos de calidad, ofrecer oportunidades obvias de mejora y poseer una directiva local cooperadora.

De acuerdo con Campanella (1992), los pasos reales del programa piloto implican:

- Medida de los costos de calidad y las bases apropiadas.
- Relacionarlos con las medidas básicas de la calidad.
- Establecimiento de los gráficos de análisis de tendencias clave.
- Identificación de oportunidades para mejorar y sus correspondientes objetivos.
- Liderazgo y apoyo para la identificación, análisis y solución de problemas.
- Estricto cumplimiento de las acciones necesarias.
- Informes resumidos de los progresos realizados<sup>14</sup>.

Conforme avanza el programa piloto, se debe ir documentando la evolución y los logros alcanzados, esto con el objetivo de registrar desviaciones, resultados

---

<sup>13</sup> Ruiz, Arturo; Rojas, Falcó, (2009). Costes de la Calidad-COPQ, 13 – 16. Recuperado: <http://web.cortland.edu/matresearch/COPQ.pdf>.

<sup>14</sup> Campanella, J. (1992). Principios de los costes de la calidad. Madrid, España: Díaz de Santos S.A, p. 54.

alcanzados y lecciones aprendidas que pueden tenerse en cuenta en futuros proyectos.

Es claro entonces que un análisis de costos de calidad y de no calidad implementado en las organizaciones debe conducir a que se identifiquen las variables de desviación de los procesos, en lo posible deben detectarse antes de ser conocidas por el cliente, de esta manera, ejecutar las acciones de ajuste necesarios para reducir los costos y/u optimizar la operación.

#### **4.1.2. Herramientas para la identificación de costos de calidad y de no calidad**

En este capítulo se pretende revisar las herramientas existentes para identificar las fallas o riesgos potenciales que afectan un proceso, con el fin de determinar si éstas pueden ser adaptadas como apoyo para la propuesta del trabajo de grado.

Según el artículo “Use of Quality planning methods in optimizing welding wire Quality characteristics”, actualmente en la industria se utilizan varias herramientas en la planificación de la calidad del producto, los cuales incluyen, por ejemplo: QFD (Quality Function Deployment – Despliegue de la Función de Calidad), Diseño de procesos bajo metodología FMEA por sus siglas en inglés (Failure Mode and Effect Analysis) o AMEF (Análisis de Modo a Prueba de Fallo), JIT (Just In Time – Justo a Tiempo), TPM (Total Productive Maintenance – Mantenimiento Productivo Total), análisis de la capacidad del proceso, sistemas de medición y análisis, herramientas de gestión, diseño de experimentos, entre otros<sup>15</sup>.

A continuación se dan a conocer algunas que sirvieron de referencia para el desarrollo del proyecto:

- **AMEF o FMEA:**

Es una herramienta dirigida a lograr el aseguramiento de la calidad mediante un análisis sistemático de modos de fallos potencialmente concebibles dentro de un producto o proceso. El principal objetivo es el de resaltar los puntos críticos que puedan ocurrir dentro de un producto o proceso con el fin de establecer un sistema preventivo que elimine o minimice las consecuencias de los modos de fallos, evaluando su gravedad, frecuencia de ocurrencia y detección. La herramienta AMEF puede ser utilizada en todos los ámbitos de las empresas, fue inicialmente empleada para fines militares, sin embargo, ahora su aplicación se está implementando en cualquier tipo de organización. Su aplicación es válida en

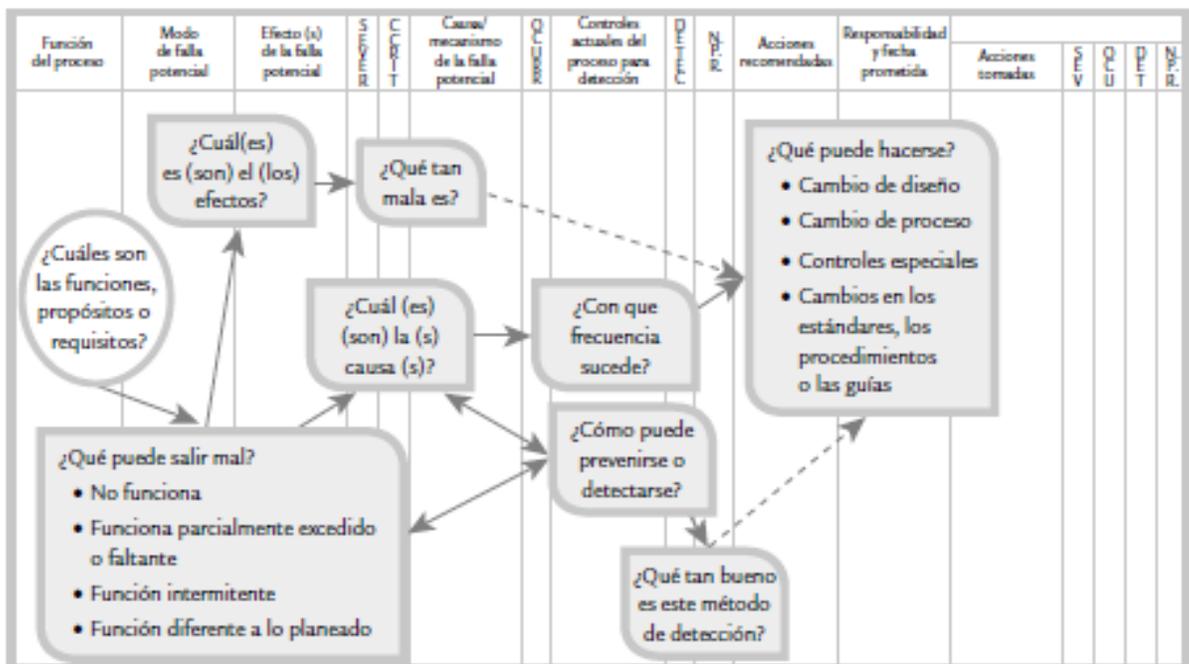
---

<sup>15</sup>Vykydal, D. D., Plura, J. J., Halfarová, P. P., Fabík, R. R., & Klaput, P. P. (2013). *Use of quality planning methods in optimizing welding wire quality characteristics*. *Metalurgija*, 52(4), 529 – 532.

las etapas de diseño, de fabricación, comercialización y en la propia organización en sus diferentes áreas funcionales (Pacheco B, H. y Tapia Q, M).

Comienza por identificar cada elemento, montaje o parte del proceso y anotar los modos posibles de falla, causas potenciales y efectos de cada falla. Por cada modo de falla se calcula un número de prioridad de riesgo (RPN: Risk Priority Number – Número de Prioridad de Riesgo). El RPN es un índice para medir el orden de importancia de los elementos anotados en la gráfica FMEA (Ver Ilustración 3 Análisis de Modo y Efecto de Fallas). Estas condiciones incluyen la probabilidad de que suceda la falla (ocurrencia), el daño que resulte de la falla (gravedad) y la probabilidad de detectar la falla internamente (detección). Los elementos de más RPN deben ser los primeros en considerarse para mejoramiento. El FMEA sugiere una acción para eliminar la condición de fallo mediante la asignación de una persona o departamento responsable para resolver el problema y se elabore de nuevo el sistema, diseño o proceso, y se vuelva a calcular el RPN<sup>16</sup>.

**Ilustración 3.** Análisis de Modo y Efecto de Fallas.



**Fuente:** Gutiérrez P., H.; De la Vara S., R.; (2009). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. México, México D.F: Mc Graw Hill. p. 410.

<sup>16</sup>Jacobs, F. R.; Chase R. B. (2009). *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros*: México, México D.F: Mc Graw Hill, p. 292.

De acuerdo con Gutiérrez P. (2009) y Richard B. (2009), la realización del AMEF consiste en el seguimiento de 8 pasos genéricos que ayudan a analizar cada función específica del proceso:

- a- Descripción de operaciones o función del proceso. Consiste en identificar los subcomponentes que forman parte del proceso; es fundamental contar con informes y diagrama del proceso para una correcta definición de las operaciones.
- b- Enunciación de modos potenciales de fallo. Dentro de cada función u operación del proceso se deben establecer los modos potenciales de fallos. Estos fallos se definen como la forma en la que un elemento o sistema pudiera fallar potencialmente a la hora de satisfacer el propósito del proceso, los requisitos de rendimiento o las expectativas del cliente.
- c- Enunciación de efectos potenciales de fallo. Para cada modo potencial de fallo se deben identificar todas las posibles consecuencias que éstas puedan implicar para los clientes del proceso. Los efectos corresponden a los síntomas de los modos de fallo.
- d- Determinación de causas de los modos potenciales de fallos. Constituyen los indicios de una debilidad del diseño del proceso, cuya consecuencia es el propio modo de fallo. Las causas son el origen de los incumplimientos con las especificaciones del proceso, por lo tanto, deben asignarse a cada modo de fallo de la forma más específica y concreta posible.
- e- Enunciación de controles actuales. Está relacionado con la detectabilidad de las causas potenciales de fallo. Se refiere a los controles o mecanismos implantados en el proceso para prevenir estas causas y/o su consecuente efecto resultante.
- f- Determinación de índices de evaluación. Se definen para cada modo de fallo en los cuales se valora su gravedad, frecuencia y detección. Estos índices son estimados por el grupo elaborador del AMEF con números enteros positivos no mayores a 10. Los índices contienen los siguientes criterios:
  - Gravedad del fallo (S). Indica el nivel de consecuencias de fallos percibidas por el cliente. Su valor se incrementa en función del grado de insatisfacción del cliente o al costo de reparación del fallo.
  - Frecuencia (O). Corresponde a la probabilidad de ocurrencia de una causa específica.
  - Detectabilidad (D). Indica la probabilidad de detección de una causa de fallo.
  - Número de Prioridad de Riesgo (NPR). Resulta de multiplicar el valor de severidad (S), la ocurrencia (O) y la detectabilidad (D), es decir:  $S \cdot O \cdot D$ .

- g- Cálculo del índice de prioridad de riesgo. Es el indicador resultante del análisis del AMEF, se calcula con el producto de los índices de gravedad, frecuencia y detectabilidad, debe ser calculado para todas las causas de fallo. Es usado con el fin de priorizar las causas potenciales de fallo para establecer las posibles acciones correctivas.
- h- Elaboración del documento. Luego de contar con la información de los puntos anteriores se procede a elaborar el documento del AMEF, se compone de una tabla o libreta en donde se registra la información y los datos para una fácil interpretación de resultados, como se muestra en la tabla siguiente:

Al revisar esta herramienta se establece que ésta dará una aproximación metodológica de identificación de las posibles fallas que afecten el proceso de producción, debido a que orienta al equipo de trabajo de la Empresa objeto de estudio en la definición de los modos de fallas potenciales, lo anterior debido a que en la empresa no se cuenta con una metodología claramente establecida y ésta permitirá generar la línea de base.

- **QFD.**

Es una herramienta de análisis de gestión utilizada para convertir los requerimientos del cliente en características técnicas que deben ser parametrizadas para su desarrollo; fue creada por Yoji Akao, profesor de Ingeniería Gerencial de Tamagawa University. Esta es una técnica que ha sido muy difundida y cuyo uso se ha ampliado (Medina F. de S., 2011).

Su método se basa en el trabajo en equipo y el diagrama de matriz, utilizado principalmente en el diseño y el desarrollo de productos y procesos. Su objetivo es transformar los requisitos de las partes interesadas (especialmente las planteadas por los clientes) en próximas fases de diseño y desarrollo de productos y procesos. QFD es típicamente usado para convertir los requisitos del cliente en parámetros técnicos básicos (características de calidad) del producto. El diagrama de matriz resultante que se denomina la "Casa de la Calidad" (HOQ – House Of Quality)<sup>17</sup>.

Esta herramienta de calidad puede ser implementada en las empresas para detectar fallas en diferentes áreas como: Marketing, investigación y desarrollo, diseño, fabricación, calidad, ventas y servicio. Las herramientas básicas del QFD son las matrices y los diagramas (matrices and charts) empleados para documentar las relaciones entre las distintas informaciones o datos a procesar y

---

<sup>17</sup>Vykydal, D. D., Plura, J. J., Halfarová, P. P., Fabík, R. R., & Klaput, P. P. (2013). Use of quality planning methods in optimizing welding wire quality characteristics. *Metalurgija*, 52(4), 529-532.

facilitar los puntos clave en la respuesta a las necesidades o exigencias del cliente (Sahagún A., R., 2012).

Los objetivos a cumplir son:

- Establecer la calidad de diseño y la calidad planificada.
- Realizar benchmarking de productos de la competencia.
- Desarrollar nuevos productos que posicionen a la empresa por delante de la competencia.
- Recopilar y analizar la información sobre la calidad en el mercado.
- Comunicar a los procesos posteriores la información relacionada con la calidad.
- Identificar los puntos de control para el piso de la planta (Genba).
- Reducir el número de problemas iniciales de calidad, el número de cambios de diseño, el tiempo y los costos de desarrollo.
- Aumentar la participación en el mercado.

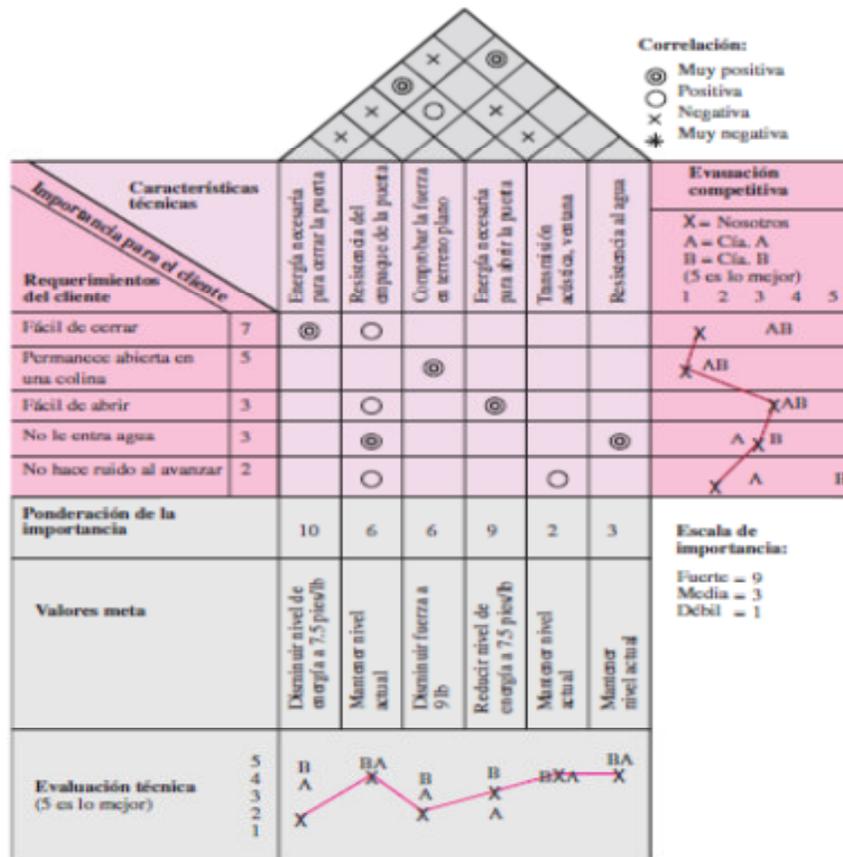
La versión completa de QFD utiliza una serie de matrices para vincular y relacionar las entradas (los Qué, los requerimientos de los clientes) con las salidas (Cómos, requisitos técnicos) de las diferentes etapas de desarrollo.

A la hora de aplicar el QFD, se contemplan cuatro fases (Auñón H, J. A., 2008):

- a- Las expectativas del cliente. La primera fase que se debe abordar es la recolección de información sobre las expectativas del cliente respecto del producto que se está analizando. Las características de los clientes pueden ser muy variadas y pueden ir desde un universo muy amplio de clientes potenciales hasta un universo muy concreto de clientes que demandan productos. Si el universo de clientes es muy amplio se debe realizar una jerarquización de los mismos, de manera que la opinión de cada grupo esté en función de la posición que ocupe en esa jerarquización. Una clasificación habitual de los clientes es dividirlos en dos grupos: vitales (aquellos que usan de manera habitual el tipo de productos que se está analizando) y útiles (aquellos que individualmente tienen una importancia limitada para el proveedor pero que en grupo sí adquieren una relevancia).
- b- Definición de las características del producto. Dentro del QFD se habla de los qué para denominar las expectativas del cliente y de los cómo para denominar las acciones o características del producto que se implementarán o aplicarán para satisfacer a los primeros. A partir de cada uno de los qué planteados por el cliente, surgirán uno o varios cómo, o viceversa, que estarán encaminados a suplir la demanda planteada. La información acerca de los requerimientos de los clientes sienta las bases para la elaboración de la matriz llamada casa de la calidad.

- c- Matriz de interrelación cliente – producto. Consiste en analizar la relación existente entre los qué y los cómo, debe realizarse de manera que su resultado lleve a una jerarquización de cada uno de los cómo. Así mismo, en la fase de aplicación de las acciones derivadas de los cómo, se analiza el nivel de importancia de cada uno con las acciones concretas a implementar en el proceso productivo y los costos que esto supone. Para esta relación, generalmente se usa la matriz de interrelación, conocida como “casa de la calidad”.
- d- Análisis comparativo de la competencia. Se basa en conocer las expectativas del cliente, consiste en conocer la opinión que tiene el cliente respecto a la comparación del producto que se está analizando frente a uno similar de la competencia. Este análisis comparativo lo realiza el método de manera subjetiva, es decir, no valora cuánto es mejor o peor el producto respecto del de la competencia, sino que solamente evalúa si uno de los dos es mejor o si son iguales.

**Ilustración 4.** Ejemplo de matriz de casa de la calidad.



**Fuente:** Jacobs, F. R.; Chase R. B. (2009). Administración de operaciones, producción y cadena de suministros: México, México D.F: Mc Graw Hill, p. 52.

Esta herramienta será necesaria en el desarrollo del trabajo de grado, pues con ella se propone recopilar la información respecto a los requisitos de calidad, la cual será recopilada de las fallas reportadas con mayor frecuencia, éstas serán evaluadas a través de una matriz de correlación para determinar los aspectos que requieren mayor atención. Así mismo, al realizar la matriz de correlación teniendo en cuenta los requisitos del cliente y los parámetros técnicos se logrará identificar los que presentan mayor impacto sobre las fallas que reportan los clientes.

▪ **TQM:**

La TQM puede definirse como “una forma de mejorar continuamente el rendimiento a cada nivel de operación, en cada área funcional de una organización, utilizando todos los recursos humanos y capital disponibles” (Brocka y Brocka, 1992: 3), dirigida a satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes, que junto a los accionistas y los empleados constituyen la tríada de la calidad total.

En el mundo occidental, TQM fue visto como uno de los factores de éxito para los japoneses y convertirse en el número uno de la industria electrónica y el mercado del automóvil. TQM fue ampliamente aplicado con éxito en la industria japonesa a finales de los años 1970 y 1980 y fue posteriormente re-exportado a Occidente en la década de 1980 (Pollitt y Bouckaert, 1994:4).

TQM es la aplicación de métodos cuantitativos y de recursos humanos para mejorar los materiales y servicios suministrados a una organización, para mejorar todos los procesos internos y el grado de cumplimiento de las necesidades de los clientes, ahora y en el futuro.

TQM se basa en una definición de calidad que viene de la literatura y la psicología del consumidor, en conjunto con las expectativas cliente como el primer y último objetivo de cada actividad en una organización. Para funcionar correctamente, TQM requiere la participación plena y activa de todos los empleados, así como de sistemas integrales de información que recogen y procesan la información con respecto a los clientes, proveedores, procesos y competidores en toda la corporación. Adicionalmente, TQM también requiere una voluntad de invertir sustancialmente en la formación. Por último, pero no menos importante, la implementación de TQM implica un cambio cultural hacia la mejora continua<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup>Cristian, D., & Costel, S. (2011). Development on quality management concepts. Analele Universitatii Maritime Constanta, 12(16), 29 – 31.

En el mismo sentido, en el documento “Critical success factors (CSFs) of TQM: a literature review & analysis”<sup>19</sup> se presentan las definiciones sobre TQM:

La Gestión de la Calidad Total tiene muchas definiciones. Gurús de la disciplina de gestión total de la calidad como Deming, Juran, Crosby, Ishikawa y Feigenbaum define el concepto de diferentes maneras, pero todavía la esencia y el espíritu sigue siendo el mismo. Según Deming, la calidad es un proceso de mejora continua de la calidad a nivel predecible de uniformidad y fiabilidad. Deming también identificó 14 principios de gestión de calidad para mejorar la productividad y el rendimiento de la organización. Juran define la calidad como "la aptitud para el uso". Según él, cada persona en la organización debe participar en el esfuerzo para hacer que los productos o servicios sean aptos para su uso. Crosby define la calidad como la conformidad con requisitos. Su foco ha estado en cero defectos y hacer las cosas bien la primera vez. Ishikawa, por su parte, también enfatiza la importancia del control total de calidad para mejorar el desempeño organizacional. Según él, la calidad no sólo significa la calidad del producto, sino también de servicio post-venta, la calidad de la gestión, la propia empresa y la vida humana. Así mismo, Feigenbaum define la calidad total como un proceso de trabajo continuo, a partir de las necesidades del cliente y que termina con la satisfacción del cliente.

La gestión de calidad total se extiende más allá de la propia organización para involucrar también a proveedores y clientes, concepto este último que se amplía al incluir no solo los tradicionales (externos) sino también los clientes internos. En esta línea, tanto la satisfacción del usuario como la del empleado son considerados objetivos esenciales. Proliferan las teorías, pero quizás sean cuatro los puntos básicos que subrayan las últimas y más afortunadas tendencias de TQM:

- Mantener como principal objetivo la mejora de los productos y servicios.
- Actuar de manera que la calidad no dependa de inspecciones.
- Formar continuamente al personal.
- Suprimir las barreras entre los servicios, así como toda forma de dirección por cifras.

Por lo anterior, la metodología TQM implica más que ofrecer componentes adicionales por la adquisición de un producto o servicio, implica un compromiso de toda la organización orientado a proporcionar valor al producto o servicio ofrecido al consumidor.

---

<sup>19</sup>Jha, U., & Kumar, S. (2010). *Critical success factors (CSFs) of TQM: a literature review & analysis*. Training, 50, 19.

Una adecuada gestión de calidad supone:

- a- Planificar la calidad. Permite la definición de las actividades relacionadas con el producto o servicio que se ofrece. Es necesario tener en cuenta: Determinar los clientes, define etapas del diseño del producto y cómo se elaborará el mismo.
- b- Controlar la calidad. Es necesario identificar las desviaciones que puedan llegar a presentarse o que se hayan presentado en el desarrollo del producto o del servicio.
- c- Mejorar la calidad. Consiste en identificar y corregir las fallas que se puedan presentar en el diseño y desarrollo del producto o servicio.

Según Padhi (2008), para la implementación exitosa del TQM es necesario también direccionar los esfuerzos de trabajo en equipo, a través de siete elementos complementarios: Ética, integridad, verdad, entrenamiento, liderazgo, reconocimiento y comunicación.

Esta herramienta encierra todo un componente de implementación de mejora de procesos, se involucra de manera macro no solo a la organización sino a los clientes, adicionalmente, se caracteriza por la fuerte relación que existe entre los proyectos de mejoramiento que se vayan a implementación con la cultura organizacional que exista en la organización objetivo. Por lo anterior, se considera que esta importante herramienta puede ser parte de una nueva fase del proyecto.

▪ **Six Sigma:**

Six Sigma es una forma más inteligente de dirigir una empresa o departamento, creado por Jack galés y Larry Bossidy, un director de General Electric, quien tuvo el objetivo de mejorar la calidad del negocio de la empresa para satisfacer las necesidades del cliente con más éxito. Six sigma pone el cliente en primer lugar mediante el uso de datos diferentes disponibles con el fin de lograr mejores resultados<sup>20</sup>.

Si bien los métodos de Six-Sigma incluyen muchas herramientas estadísticas propias de otros movimientos por la calidad, en ésta se aplican de manera sistemática y enfocadas a proyectos mediante el ciclo de definir, medir, analizar, mejorar y controlar (DMAIC). El ciclo DMAIC es una versión más detallada del ciclo PDCA de Deming, que consta de cuatro pasos: planear, desarrollar, comprobar y actuar, pilares de la mejora continua (también conocida como Kaizen,

---

<sup>20</sup>BARJAKTAROVIĆ, L., & JEČMENICA, D. (2014). *Six Sigma concept*. Acta Technica Corvininesis - Bulletin Of Engineering, 7(3), 103 – 108.

pretende mejorar constantemente maquinaria, materiales, utilización de mano de obra y métodos de producción mediante la aplicación de sugerencias e ideas de los equipos de la empresa<sup>21</sup>.

El planteamiento de las etapas para la implementación de la metodología Six Sigma se presentan a continuación<sup>22</sup>:

- a- Definir (D). En esta etapa es necesario definir con precisión las metas y objetivos estratégicos de mejora, identificando a los clientes y sus prioridades, así como las características cruciales que el cliente considera que influyen más en la calidad.
- b- Medir (M). Se requiere determinar cómo medir y ejecutar el proceso, en este es necesario evaluar la existencia de un sistema de medición y control del proceso, como por ejemplo puntos críticos. Adicionalmente, se identifican los procesos internos clave que influyen en las características cruciales para la calidad y medir los defectos que se generan actualmente en relación con esos procesos. En esa fase, son utilizadas herramientas básicas, como las métricas Six Sigma Análisis de Sistemas de Evaluación (MSA) y Análisis de Modos de Fallo y Efectos (FMEA).
- c- Analizar (A). Determinar las causas más probables de los defectos, entiendo por qué se generan los defectos al identificar las variables clave que tienen más probabilidades de producir variaciones en los procesos. Igual que en la fase anterior, una herramienta muy apropiada es FMEA.
- d- Implementar (I). En esta fase es importante identificar los medios para eliminar las causas de los defectos o los fallos que afectan el desempeño actual del sistema o proceso y la meta deseada. Adicionalmente, es importante confirmar las variables clave y cuantificar sus efectos en las características cruciales para la calidad, así como identificar los márgenes máximos de aceptación de las variables clave y un sistema para medir las desviaciones de dichas variables; posteriormente, se modifican los procesos para mantenerse dentro de los límites apropiados.
- e- Control (C). Para esta etapa es necesario determinar las herramientas para que las variables clave se mantengan dentro de los límites máximos de aceptación en el proceso modificado. De igual manera, se definen los mecanismos para institucionalizar la mejora de los sistemas, por ejemplo: Remuneración, incentivos, políticas operativas, procedimientos,

---

<sup>21</sup> Jacobs, F. R.; Chase R. B. (2009). *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros*: México, México D.F: Mc Graw Hill, p. 288.

<sup>22</sup> Stefano, N. M. (2014). *Herramientas para mejoría de la calidad y productividad: ISO 14000, Quality Function Deployment (QFD) y Six Sigma*. Estudios do ISCA, (8).

planificación de las necesidades de material, presupuesto, instrucciones operacionales y otros sistemas de gestión.

En la siguiente tabla se resume los puntos a considerar en la implementación de DMAIC:

**Tabla 6.** Metodología para aplicación de DMAIC.

ETAPAS	DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTAS
DEFINIR	Definir metas, analizar requisitos del cliente y las necesidades de la empresa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flujo del proceso</li> <li>- Investigación de Mercados</li> <li>- Voz del Cliente</li> <li>- Dashboards</li> <li>- Análisis del Flujo de Valor</li> <li>- Análisis SIPOC</li> <li>- Gráfico de la transición del proyecto</li> </ul>
MEDIR	Cómo medir y ejecutar el proceso, identificar las actividades claves para el proceso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cálculo del nivel sigma</li> <li>- Plan de medición</li> <li>- Análisis descriptivo de datos</li> </ul>
ANALIZAR	Se aplican las herramientas estadísticas que permiten descubrir la causa-raíz de los problemas presentados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- FMEA</li> <li>- Diagrama de Dispersión</li> <li>- Diagrama de Causa y Efecto</li> <li>- Diagrama de Afinidades</li> <li>- Diagrama de Relaciones</li> <li>- Matriz de Priorización</li> <li>- Análisis de regresión</li> <li>- Pruebas de hipótesis</li> <li>- Análisis de Variancia</li> <li>- Análisis de Tiempos de Fallos Pruebas de Vida Acelerados</li> </ul>
IMPLEMENTAR	Son aplicadas las herramientas estadísticas que posibiliten mejorar el proceso. En esta etapa comienza realmente el mejoramiento de los procesos, eliminando los errores o desarrollando nuevas soluciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5W2H</li> <li>- PERT/CPM</li> <li>- FMEA</li> <li>- Brainstorming</li> </ul>
CONTROLAR	Se aplican herramientas estadísticas, posibilitando que las mejoras obtenidas sean mantenidas en la organización.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagrama de Pareto</li> <li>- OJT (On the Job Training)</li> <li>- Poka – Yoke</li> <li>- Métrica Six Sigma</li> </ul>

**Fuente:** Stefano, N. M. (2014). Herramientas para mejoría de la calidad y productividad: ISO 14000, Quality Function Deployment (QFD) y Six Sigma. Estudios do ISCA, (8).

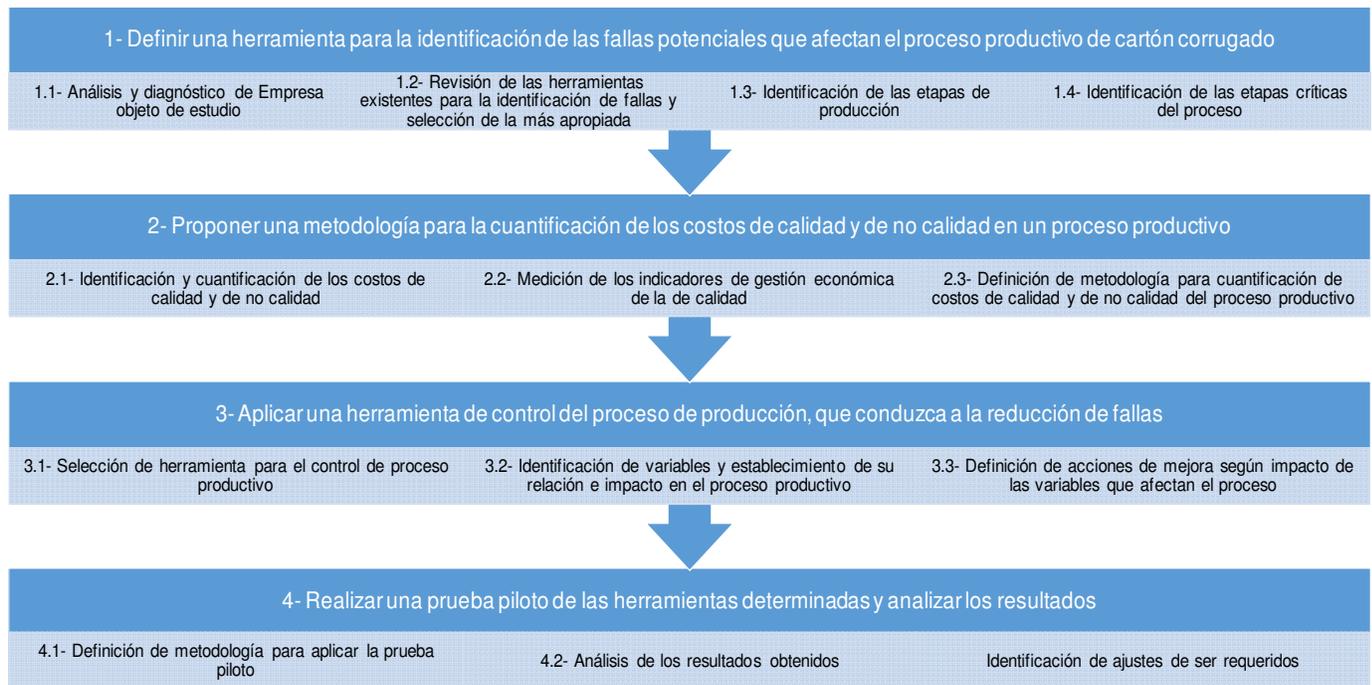
En las diferentes etapas de esta metodología se puede hacer uso de herramientas de las cuales ya se han presentado, aunque esta metodología no será desarrollada en este proyecto, si se tendrá en cuenta planteamientos que podrán ser aplicados en los diferentes objetivos del proyecto.

## 5. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Una vez elaborado el marco de referencia, donde se realizó una revisión de algunos trabajos relacionados con el tema objeto de estudio y se revisó el marco teórico logrando identificar herramientas que pueden ser de aporte significativo al trabajo de grado, fue necesario estructurar la metodología para desarrollar cada uno de los objetivos específicos. En primera instancia, la necesidad de este trabajo de grado surgió de los problemas que se han venido presentando en la Empresa objeto de estudio, es decir, lo que surgió como idea se fue estructurando y se obtuvo un panorama frente a la necesidad puntual de la empresa (Ver numeral 2.2).

Posteriormente, fue necesario definir la metodología usada para realizar el trabajo, para ello, se elaboró el diagrama con las etapas que deben ser consideradas en cada objetivo (Ver Ilustración 5. Metodología usada para desarrollar el trabajo de grado).

**Ilustración 5.** Metodología usada para desarrollar el trabajo de grado.



**Fuente:** Los autores.

De acuerdo con la Ilustración anterior, el primer objetivo consiste en definir una herramienta para la identificación de las fallas potenciales que afectan el proceso productivo de cartón corrugado, para su desarrollo es necesario realizar un análisis y diagnóstico de la Empresa, teniendo en cuenta la recopilación de la

información que afecta el proceso; posteriormente, se revisan las herramientas existentes para la identificación de fallas y se selecciona la más apropiada, luego se identifican las etapas del proceso y sus etapas críticas.

En el segundo objetivo se pretende proponer una herramienta para la cuantificación de los costos de calidad y de no calidad en un proceso productivo; para ello, se identifican y cuantifican los costos de calidad y de no calidad, se realiza la medición de los indicadores de gestión económica de la calidad, teniendo en cuenta la situación actual de la Empresa objeto de estudio y finalmente, se propone una herramienta para la cuantificación de los costos de calidad y de no calidad del proceso productivo.

El objetivo tres consiste en aplicar una herramienta de control del proceso de producción que conduzca a la reducción de fallas, para el cual, es necesario seleccionar una herramienta que permite hacer un control del proceso productivo, se identifican las variables y se establezca su relación e impacto y se logren definir acciones de mejora según el impacto de las variables que afectan el proceso.

Finalmente, el objetivo cuatro consiste en realizar una prueba piloto de las herramientas determinadas y analizar los resultados, para lo cual se requiere definir una metodología de aplicación de la prueba piloto, analizar los resultados obtenidos e identificar los ajustes de ser necesario.

A continuación, se presentan las actividades desarrolladas para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos del proyecto, en cada uno se encontrará la metodología empleada, la descripción de los resultados obtenidos y finalmente los resultados alcanzados en cada uno.

## **5.1. IDENTIFICACIÓN DE FALLAS POTENCIALES DEL PROCESO PRODUCTIVO**

El primer objetivo de este trabajo consistió en definir una herramienta para la identificación de las fallas potenciales que afectan el proceso productivo de cartón corrugado, para ello, se realizó una revisión del proceso actual que se lleva a cabo en las tres líneas de producción de cajas de cartón corrugado de la empresa objeto de estudio, con la finalidad de observar y verificar los controles aplicados en las diferentes etapas del proceso antes que el producto llegue al cliente.

A través del diagrama de flujo se identificaron las etapas del proceso, del cual según Gutiérrez P., H. (2009)<sup>23</sup> argumenta que es una representación gráfica de la secuencia de los pasos o actividades de un proceso, que incluye transportes, inspecciones, esperas, almacenamientos y actividades de reproceso. Por medio de este diagrama es posible ver en qué consiste el proceso y cómo se relacionan las diferentes actividades; asimismo, es de utilidad para analizar y mejorar el proceso.

A través de esta herramienta se logró sintetizar el desarrollo productivo de las líneas de producción, en éste se identificaron las siguientes etapas (Ver Ilustración 5 Diagrama de flujo de línea de producción de cartón corrugado):

- Comercial. Es el área que se convierte en el socio estratégico de nuestros clientes en el suministro de productos de cartón corrugado, cumpliendo con los requisitos solicitados, asegurando la satisfacción y generando valor a las partes.
- Planeación. Es el proceso que se encarga de programar la producción, teniendo en cuenta las capacidades de máquina, los compromisos de entrega buscando siempre la optimización de los recursos y eficiencia en las máquinas.
- Corrugador. Es el área responsable de fabricar láminas de cartón corrugado cumpliendo con las especificaciones solicitadas por el cliente, con el mínimo porcentaje de desperdicio y cumpliendo con los requisitos legales aplicables a la Gestión Medio Ambiental.
- Prealistamiento. Realiza el alistamiento de los clisés en las lonas, porta clisés para el proceso de impresión de cajas, asegurándose y garantizando la exactitud del diseño gráfico de acuerdo a las fichas técnicas.
- Líneas de producción. Deben controlar y coordinar la elaboración de las cajas corrugadas cumpliendo con las especificaciones técnicas establecidas por el cliente.
- Calidad. Su labor es asegurar y controlar el cumplimiento y requisitos para la fabricación de empaques corrugados.
- Despachos. En esta área se almacena adecuadamente el producto terminado, planea y efectúa su entrega al cliente en el lugar y en la fecha convenida, a un costo presupuestado y en las cantidades solicitadas.

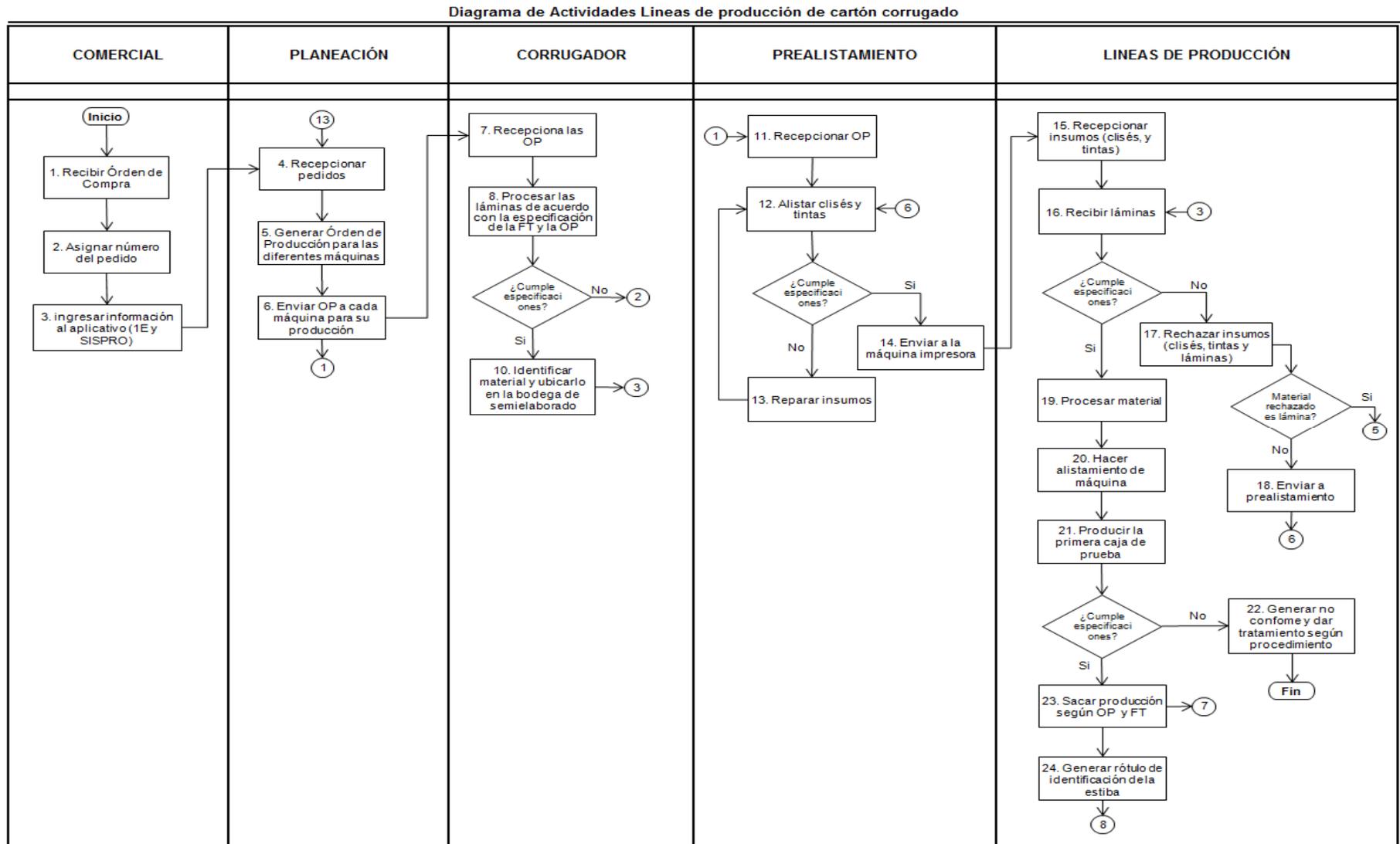
---

<sup>23</sup> Gutiérrez P., H.; De la Vara S., R.; (2009). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. México, México D.F: Mc Graw Hill.

- Cliente. Es el destinatario final (persona, empresa u organización) que adquiere o compra de forma voluntaria productos o servicios que necesita o desea para sí mismo, para otra persona o para una empresa u organización; por lo cual, es el motivo principal por el que se crean, producen, fabrican y comercializan productos y servicios.
- Cartera. Debe administrar y controlar la gestión del crédito y cobranza de los clientes para lograr los objetivos y metas propuestas.
- Bodega externa. Se encarga de revisar y reprocesar los materiales devueltos por los clientes que se han identificado como no conformes, con el fin de volverlos conformes.

A continuación se presenta el diagrama de flujo diseñado:

**Ilustración 6.** Diagrama de flujo de línea de producción de cartón corrugado.



**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

Diagrama de Actividades Lineas de producción de cartón corrugado

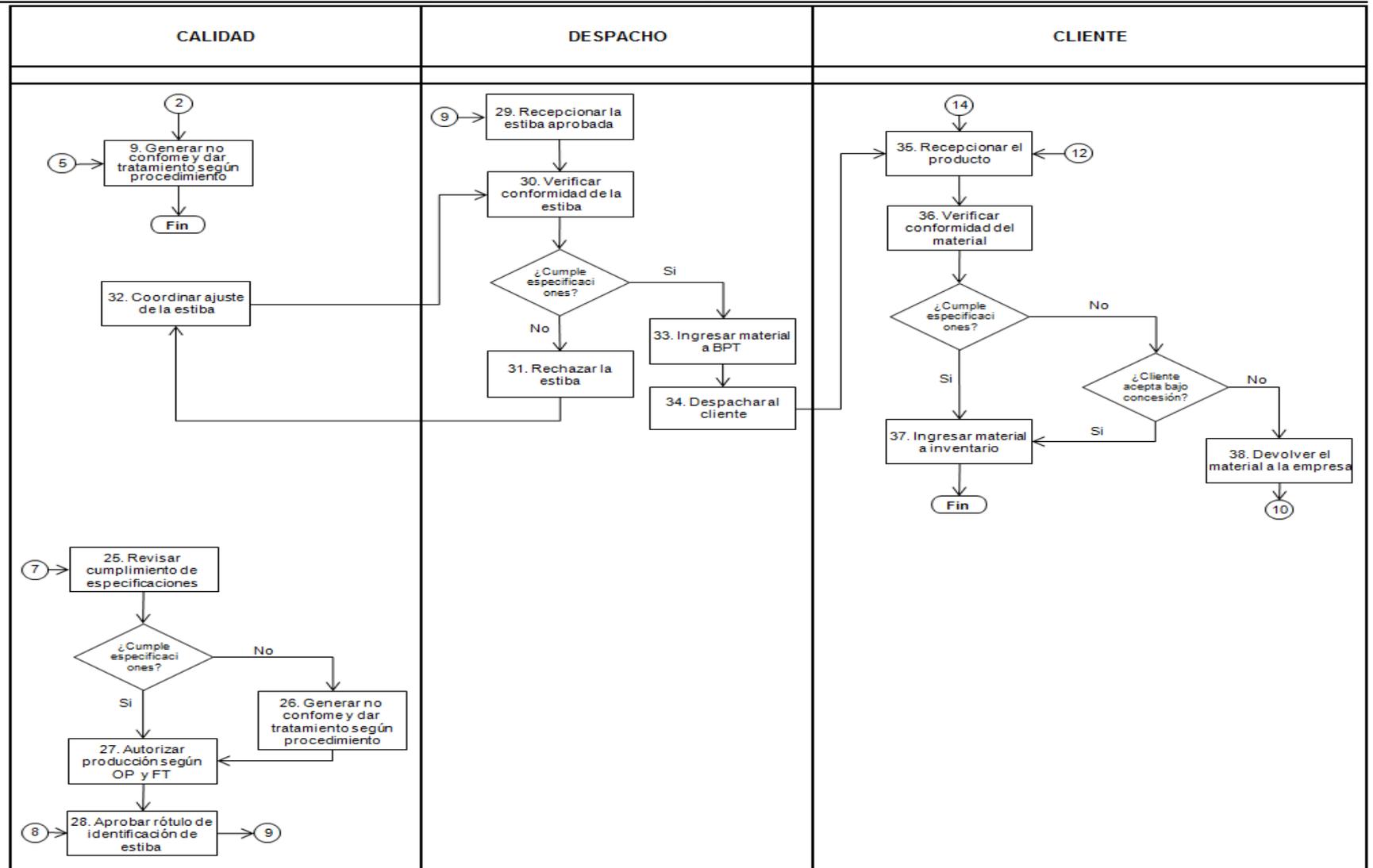
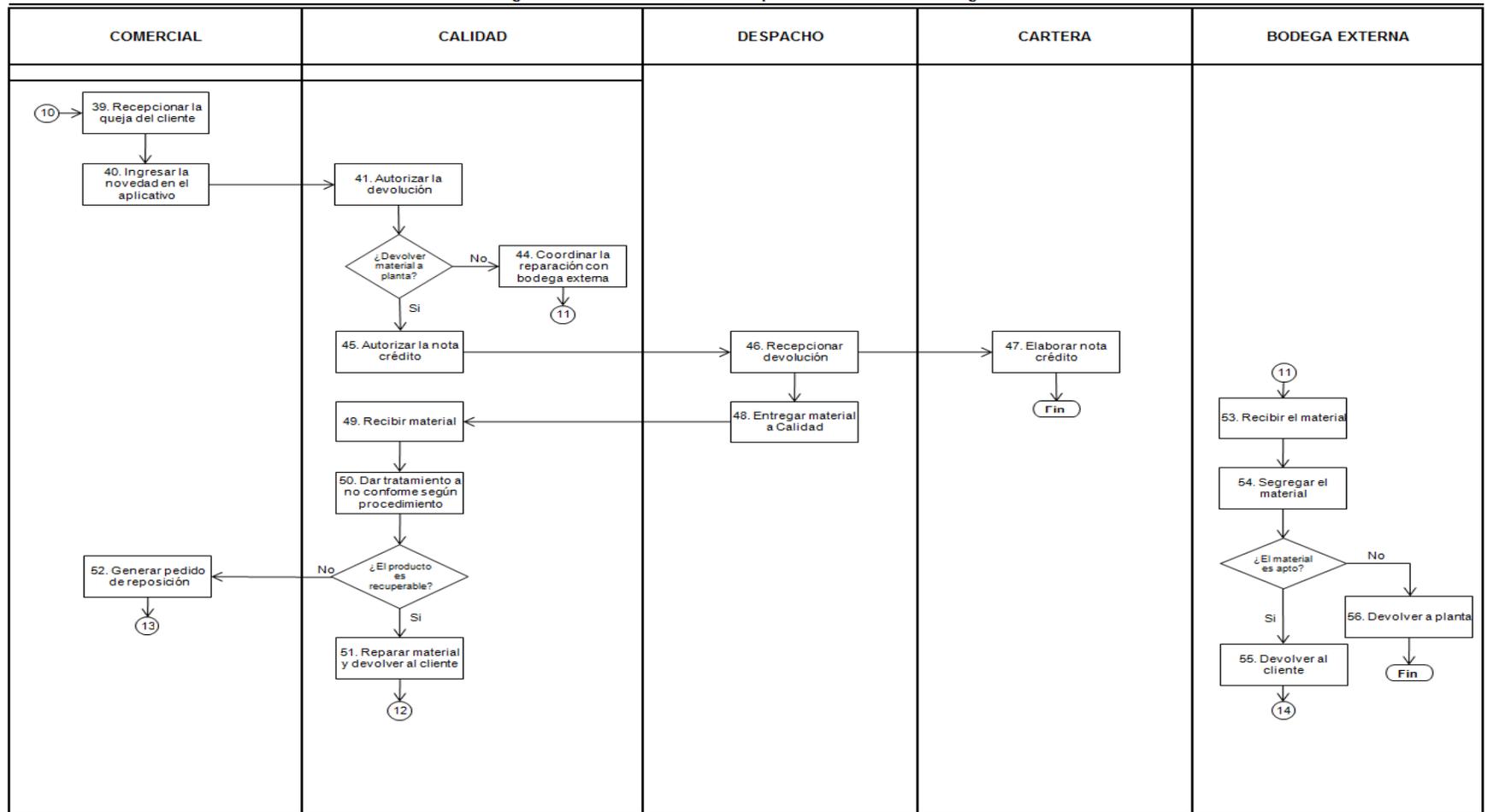


Diagrama de Actividades Lineas de producción de cartón corrugado



Fuente: Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

El diagrama de flujo anteriormente presentado sirvió como insumo para determinar los controles que se realizan en las diferentes etapas y áreas del proceso. En este ejercicio se identificó que aunque se realizan controles antes de enviar el producto al cliente, éstos no son suficientes, puesto que según la Tabla 1 (Costo de reclamos y de No conformidades anuales (2011 a 2013)), este número de reportes ha ido en incremento, adicionalmente, al cierre del mes de junio de 2014 se habían reportado 105 reclamos, afectando la imagen de la empresa y la satisfacción del cliente.

Por otra parte, aunque la empresa objeto de estudio realiza controles previos en los procesos productivos, se evidencia que los clientes están haciendo verificación de los empaques de cartón corrugado recibido, siendo ellos quienes reportan las no conformidades detectadas en estas verificaciones, esto es consecuente con lo expuesto en el planteamiento del problema.

De acuerdo con lo anterior, se establece que es necesario llevar a cabo una revisión detallada de los controles que se realizan en cada una de las etapas del proceso. Para ello, se realizó una revisión de las herramientas más utilizadas para la identificación de fallas en los procesos productivos, como son: AMEF o FMEA, TQM, QFD y Six Sigma. A continuación se presentan las características más importantes de cada una (Ver Tabla 7 Comparación de las herramientas utilizadas para la identificación de fallas de procesos):

**Tabla 7.** Comparación de las herramientas utilizadas para la identificación de fallas de procesos.

HERRAMIENTA	CARACTERÍSTICAS
AMEF ó FMEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene en cuenta los puntos críticos del proceso.</li> <li>- Identifica posibles fallos en el proceso y evalúa la gravedad, frecuencia de ocurrencia y detección de cada uno.</li> <li>- Prioriza los riesgos a través de RPN, lo cual orienta la priorización de controles a riesgos de mayor impacto.</li> <li>- Puede ser utilizado en diferentes etapas (diseño, fabricación, comercialización y áreas funcionales).</li> </ul>
QFD	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite conocer los requerimientos del cliente para convertirlos en características técnicas del producto o servicio.</li> <li>- Se utiliza principalmente en etapas de diseño y desarrollo de productos y servicios.</li> <li>- Utiliza serie de matrices que vinculan los qué (requerimientos del cliente) con los cómo (requisitos técnicos).</li> </ul>
TQM	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede ser implementada en áreas operativas y funcionales de la organización.</li> <li>- Se enfoca en la formación y capacitación continua del personal.</li> <li>- Implica cambio de cultura organizacional enfocada en la mejora continua.</li> <li>- La calidad no debe depender de inspecciones.</li> </ul>
Six Sigma	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usa datos con el fin de lograr mejores resultados.</li> <li>- Incluye más herramientas estadísticas propias y de otras metodologías de calidad.</li> <li>- Utiliza el ciclo DMAIC.</li> </ul>

**Fuente:** Los autores.

La tabla anterior muestra el resultado de la revisión del marco de referencia de las diferentes herramientas que fueron contempladas para aplicar en el desarrollo del trabajo, con base en ello, se definió que AMEF o FMEA es la que más se ajusta a las necesidades de identificación de las fallas del proceso productivo de las líneas de producción de la empresa objeto de estudio, esto debido a que la organización

no cuenta con una metodología claramente establecida que permita identificar las fallas presentes o potenciales que afectan el proceso. Adicionalmente, ésta es una herramienta sencilla que lleva al usuario a su implementación de manera sistemática, con la cual se llega a un resultado de ejecución de actividades preventivas que permitan verificar en un tiempo determinado el cumplimiento o no de las mismas.

Para orientar el desarrollo de la herramienta AMEF, se tuvo en cuenta los siguientes aspectos<sup>24</sup>:

- Descripción de las etapas del proceso. En este campo se tomaron las etapas del proceso productivo previas al momento donde el producto llega al cliente, pues es allí donde se pueden llevar a cabo acciones tendientes a eliminar posibles fallas.
- Modo potencial de falla. Para identificar las fallas potenciales o riesgo en cada etapa del proceso se plantearon las siguientes preguntas:
  - ¿Cómo el proceso puede fallar en su desempeño o en el cumplimiento de especificaciones?
  - Independientemente de las especificaciones de ingeniería, ¿qué consideraría un cliente como objetable?

Este tipo de preguntas fueron planteadas al equipo de trabajo conformado para llevar a cabo la identificación de las fallas potenciales.

- Efecto de falla potencial o consecuencia. Este efecto negativo puede darse en el proceso mismo, sobre una operación posterior o sobre el cliente final. De esta forma, suponiendo que la falla ha ocurrido, en esta etapa se describieron todos los efectos potenciales de los modos de falla señalados en el paso previo. Una pregunta clave para esta actividad fue: ¿qué ocasionará el modo de falla identificado?
- Severidad (S). Se evalúa en una escala del 2 al 10 y representa la gravedad de la falla para el cliente o para una operación posterior, una vez que esta falla ha ocurrido, sólo se refiere o se aplica al efecto. Los efectos pueden manifestarse en el cliente final o en el proceso de manufactura. Si el efecto ocurre en ambos, se debe usar la severidad más alta. La calificación de la severidad se puede observar en la Tabla 8 (Tabla de Criterios y puntuaciones para la severidad del efecto de la falla):

---

<sup>24</sup>Gutiérrez P., H.; De la Vara S., R.; (2009). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. México, México D.F: Mc Graw Hill, p. 409 - 414.

**Tabla 8.** Tabla de Criterios y puntuaciones para la severidad del efecto de la falla.

Descripción de la Severidad del fallo	Efecto	Valor
Sin consecuencias para el cliente	Fallo menor no grave	2
Puede generar quejas del cliente	Fallo menor moderado	4
Pueda generar insatisfacción del cliente	Fallo moderado grave	6
Afecta el uso del producto o servicio generando reclamos del cliente	Fallo mayor	8
Genera incumplimiento legal relacionado con el producto o servicio	Fallo fatal	10

**Fuente:** Apuntes de clase materia Control de Calidad Industrial.

- Causa. Para determinar las causas se realizó una lista de los modos potenciales de falla que pudieran afectar el proceso productivo en las diferentes líneas.
- Ocurrencia. Se calculó estimando la frecuencia con la que se espera ocurra la falla debido a cada una de las causas potenciales listadas antes, para ello se planteó la pregunta ¿con qué frecuencia se activa tal mecanismo de falla? La posibilidad de que ocurra cada causa potencial (que se active el mecanismo de falla) se estima en una escala de 1 a 10.

**Tabla 9.** Tabla de Criterios para la calificación de la probabilidad de ocurrencia.

Descripción de la Probabilidad de ocurrencia del fallo	Tasa de falla	Valor
El fallo ocurre en menos del 0,135% de las veces que se fabrica o presta	Improbable	2
El fallo ocurre entre el 0,136% y el 6,54% de las veces que se fabrica o presta	Raro	4
El fallo ocurre entre el 6,55% y el 30,23% de las veces que se fabrica o presta	Factible	6
El fallo ocurre entre el 30,24% y el 85,64% de las veces que se fabrica o presta	Probabilidad alta	8
El fallo ocurre más del 86,64% de las veces que se fabrica o se presta	Probabilidad muy alta	10

**Fuente:** Apuntes de clase materia Control de Calidad Industrial.

- Controles actuales. Los controles actuales del proceso deben estar dirigidos a:
  - a) Prevenir que ocurra la causa-mecanismo de la falla o controles que reduzcan la tasa de falla.
  - b) Detectar la ocurrencia de la causa-mecanismo de la falla, de tal forma que sea posible generar acciones correctivas.
  - c) Detectar la ocurrencia del modo de falla resultante.
- Detección (D). En esta etapa fue necesario estimar la probabilidad de que los controles del tipo, b) y c), listados antes, detecten la falla (su efecto),

una vez que ha ocurrido, antes de que el producto salga hacia procesos posteriores o antes que salga del área de manufactura o ensamble. Es necesario tener en cuenta que la causa de falla ha sucedido y entonces evaluar la eficacia de los controles actuales para prevenir el embarque del defecto, es decir, es una estimación de la probabilidad de detectar, suponiendo que ha ocurrido la falla, y no es una estimación sobre la probabilidad de que la falla ocurra.

**Tabla 10.** Tabla de Criterios para la calificación de la probabilidad de ocurrencia.

Criterios para la calificación de la Detección	Tipo de falla	Valor
Existen mecanismos de control que detectan el fallo en el proceso que se generó, antes de agregar valor en otra etapa	A prueba de error	2
El fallo es detectado a través de controles antes de que el producto o servicio sea entregado al cliente	Fallo obvio detectado antes de tener impacto en el cliente	4
El fallo sólo se detecta en la inspección final, antes de la entrega del producto o del servicio al cliente	Fallo que se detecta en la inspección 100% al final del proceso	6
El fallo lo detecta el cliente y la empresa lo conoce por quejas y/o reclamos del cliente	El fallo es detectado por el cliente	8

**Fuente:** Apuntes de clase materia Control de Calidad Industrial.

- **NPR.** Es el resultado de multiplicar la puntuación dada a la severidad (S) del efecto de falla, por la probabilidades de ocurrencia (O) para cada causa de falla, por las posibilidades de que los mecanismos de control detecten (D) cada causa de falla. Es decir, para cada efecto se tienen varias causas y para cada causa un grupo de controles.

$$NPR = S * O * D$$

El NPR debe estar en un rango de 1 a 1 000 y proporciona un indicador relativo de todas las causas de falla. A los más altos números de NPR se les debe dar prioridad para llevar a cabo el tratamiento propuesto, ya sea para prevenir la causa o por lo menos para emplear mejores controles de detección. Asimismo, debe darse especial atención cuando se tengan altos NPR (mayores a 80) con severidades altas.

De acuerdo con la Ilustración 5 (Diagrama de flujo de línea de producción de cartón corrugado), se determinó que las etapas del proceso donde el producto ya está terminado no es relevante incluir acciones de tratamiento para mitigar el riesgo, debido a que en ciertas instancias del proceso como son despachos, cliente, cartería y bodega externa, el producto ya está terminado, por tanto las acciones tomadas son enfocadas a la corrección. Es así como en la Ilustración 6 (Fallas potenciales identificadas en las líneas de producción de la empresa objeto

de estudio según etapas del proceso) se presenta la descripción de las etapas del proceso que representan mayor impacto para el cliente.

**Ilustración 7.** Fallas potenciales identificadas en las líneas de producción de Empresa objeto de estudio, según etapas del proceso.

**ANÁLISIS AMEF PARA LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE CARTÓN CORRUGADO**

Descripción de las etapas del proceso	Modo de Falla Potencial o Riesgo	Efecto de Falla Potencial o Consecuencia	S	Causa	O	Controles actuales	D	NPR
<b>COMERCIAL</b>	Ingresar información errada en el sistema sobre la orden de compra del cliente	Ineficiencia en la programación y fabricación del pedido	4	Falta de revisión de la información de la OC	4	Se verifica cada uno de los ítems de la OC ingresando en el sistema el responsable del registro de la información	4	64
				Recepción de las OC a través de medios no estandarizados por la empresa	4	Formato de recepción de OC establecido por la empresa	4	64
				El ingreso de las OC se realizan manualmente	4	Se realiza chequeo cruzado de las OC recibidas por el cliente	2	32
<b>PLANEACIÓN</b>	Registrar especificaciones erradas en la OP (medidas, clave)	Rechazo de láminas y/o cajas corrugadas	4	No se cuenta con una metodología que permita detectar el ingreso de la información errada en las OP	1	Comparar la información del SISPRO Vs ingresado en las OP	4	16
				Agrupación de los pedidos de los clientes sin tener en cuenta las especificaciones particulares de cada uno	6		96	
<b>CORRUGADOR</b>	Fabricar láminas con especificaciones diferentes a las FT	Incumplimiento a cliente	4	No hacer uso de las herramientas definidas para asegurar el cumplimiento de las especificaciones de las láminas corrugadas	6	Se hacen Controles aleatorios a los pedidos dejando registro en un formato	6	144
	Fabricar cajas con láminas que no corresponde	Rechazo de cajas corrugadas	2	No identificar oportunamente las estibas producidas	6	Sin control definido	6	72
				Identificación inadecuada de las láminas corrugadas	6	Sin control definido	4	48
<b>PREALISTAMIENTO</b>	Alistamiento inadecuado de los insumos (Clises, troqueles, tintas)	Demora en la ejecución de la OP	2	La actividad de prelistar se realiza de forma manual	6	Se hace comparativo de FT y OP Vs Preallistamiento	4	48
		Fabricar cajas de cartón con información que no corresponda	6	No se reparan los insumos antes de ser utilizados nuevamente en el proceso productivo	6	Sin control definido	4	144
<b>LÍNEAS DE PRODUCCIÓN</b>	Fabricar cajas de cartón con especificaciones diferentes a las aprobadas por el cliente	Insatisfacción del cliente	8	Incumplimiento del instructivo de inspección de cajas corrugadas	8	Formato de inspección de cajas corrugadas	8	512
		Pérdidas económicas						
		Incumplimiento al cliente		Interpretación inadecuada de las especificaciones del cliente	4	Ficha Técnica	4	128
		Devolución y/o del producto						
		Reproceso						
Pérdida del cliente								
<b>CALIDAD</b>	Aprobar cajas de cartón con especificaciones erradas	Insatisfacción del cliente	6	No hacer una lectura adecuada de la caja muestra Vs FT, por uso de tiempo en actividades que no corresponden al proceso de Calidad (Ingreso de material a la BPT)	6	Muestreos aleatorios	8	288
<b>DESPACHOS</b>	Despachar producto con cantidades erradas	Pérdidas económicas	4	No se verifica, las cantidades físicas con respecto al formato de identificación de producto	4	Conteo de paquetes por estiba	4	64
		Reclamo del cliente						

1720

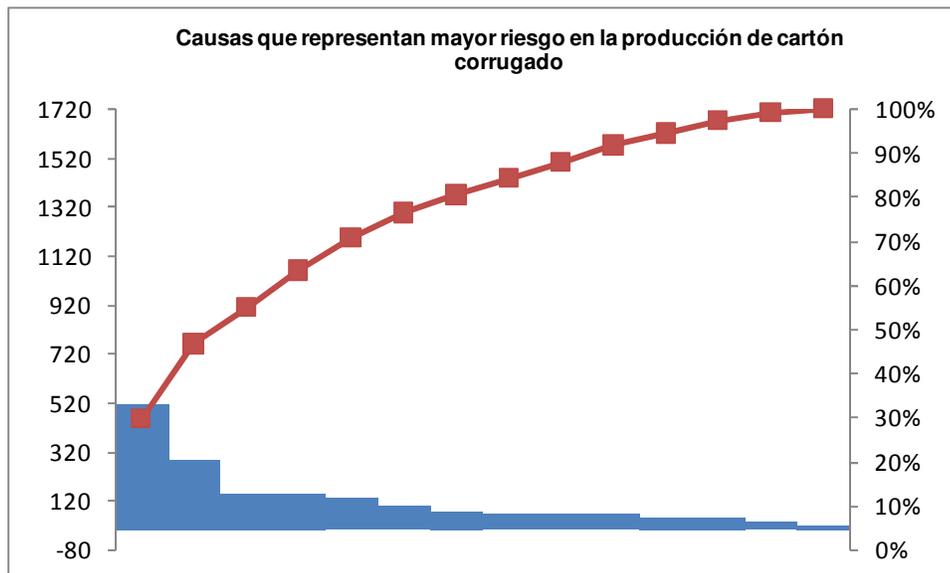
S: Severidad      O: Ocurrencia      D: Detección      NPR: Número de prioridad de riesgo

Fuente: Los autores.

Los modo de falla potencial o riesgo identificados en el AMEF son el resultado de las novedades que pueden generarse en cada una de las etapas de fabricación de cartón corrugado de las tres líneas de producción.

Así mismo, siguiendo el paso a paso de esta herramienta, se identificaron tres causas a las cuales en la actualidad no se les realiza ningún control, éstas impactan significativamente el proceso. De igual manera, una vez calculado el NPR fue necesario priorizar los resultados obtenidos frente a los controles actuales que se realizan en las diferentes etapas de producción, esta priorización se llevó a cabo a través del Diagrama de Pareto, con el cual se identificaron los controles que mayor impacto están generando en las líneas y de los que requiere iniciar tratamiento más inmediato (Ver Ilustración 8 Causas que representan mayor riesgo en la producción de cartón corrugado).

**Ilustración 8.** Causas que representan mayor riesgo en la producción de cartón corrugado.



**Fuente:** Los autores.

Los controles actuales que requieren tratamiento se presentan a continuación:

**Ilustración 9.** Causas y controles identificados que requieren mayor atención.

Descripción de las etapas del proceso	Causa	Controles actuales	D	NPR	%	% Acum
<b>LINEAS DE PRODUCCIÓN</b>	Incumplimiento del instructivo de inspección de cajas corrugadas.	Formato de inspección de cajas corrugadas	8	512	30%	30%
<b>CALIDAD</b>	No hacer una lectura adecuada de la caja muestra Vs FT, por uso de tiempo en actividades que no corresponden al proceso de Calidad (Ingreso de material a la BPT).	Muestreos aleatorios	8	288	17%	47%
<b>CORRUGADOR</b>	No hacer uso de las herramientas definidas para asegurar el cumplimiento de las especificaciones de las láminas corrugadas.	Se hacen Controles aleatorios a los pedidos dejando registro en un formato	6	144	8%	55%
<b>PREALISTAMIENTO</b>	No se reparan los insumos antes de ser utilizados nuevamente en el proceso productivo.	Sin control definido	4	144	8%	63%
<b>LINEAS DE PRODUCCIÓN</b>	Interpretación inadecuada de las especificaciones del cliente.	Ficha Técnica	4	128	7%	71%
<b>PLANEACIÓN</b>	Agrupación de los pedidos de los clientes sin tener en cuenta las especificaciones particulares de cada uno.	Comparar la información del SISPRO Vs ingresado en las OP	4	96	6%	76%
<b>CORRUGADOR</b>	No identificar oportunamente las estibas producidas.	Sin control definido	6	72	4%	80%

**Fuente:** Los autores.

De acuerdo con la Ilustración anterior, se identificó que en la etapa del proceso de “Líneas de producción” se encuentra el 37% del total de causas que requieren mayor atención según la priorización identificada, seguido del proceso de Calidad, que es un área de apoyo y presenta una priorización del 17%, por tanto, debe establecerse controles que ayuden a mitigar o eliminar los riesgos de fallas potenciales en las fases de producción de cartón corrugado, igualmente, se evidencia que todas las causas apuntan a incumplimiento de las instrucciones de trabajo establecidas en cada fase.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el NPR y la priorización respectiva, se establecieron tratamientos para cada una de las causas actuales, con el fin de reducir o eliminar los riesgos identificados. Se tomó como referencia el concepto dado por Gutiérrez (2009)<sup>25</sup>:

Las acciones correctivas que atiendan los NPR más altos por lo general son para el diseño o el proceso. Con base en el análisis, las acciones pueden ser usadas para lo siguiente:

- Generar soluciones que eviten, prevengan o por lo menos reduzcan la probabilidad de *ocurrencia* de la falla, debido a la causa asociada. Estas soluciones deben ser a nivel proceso o diseño de producto.

<sup>25</sup>Gutiérrez P., H.; De la Vara S., R.; (2009). Control estadístico de la calidad y seis sigma. México, México D.F: Mc Graw Hill.

- En algunas ocasiones es posible reducir la *severidad* del modo de falla del producto modificando su diseño.
- Para incrementar la probabilidad de *detección* se requieren revisiones al proceso. Por lo general, un aumento de los controles de detección es costoso e ineficaz para mejorar la calidad. Un incremento en la frecuencia de inspección del departamento de calidad no es una acción correctiva positiva y debe utilizarse sólo como último recurso o medida temporal. En algunos casos se recomienda un cambio en el diseño de una parte específica para ayudar a la detección. Asimismo, pueden implementarse cambios en los sistemas de control actuales para incrementar la probabilidad de detección; sin embargo, debe ponerse énfasis en la prevención de defectos (es decir, reduciendo la ocurrencia), en vez de su detección; por ejemplo, teniendo un control estadístico de proceso en lugar de técnicas de muestreo al azar.

A continuación, los tratamientos propuestos para reducir o eliminar las causas se presentan en la Ilustración 10 (Tratamientos propuestos para eliminación o reducción de las causas):

**Ilustración 10.** Tratamientos propuestos para eliminación o reducción de las causas.

Descripción de las etapas del proceso	Modo de Falla Potencial o Riesgo	Efecto de Falla Potencial o Consecuencia	Causa	Tratamiento propuesto	Responsable	Fecha
<b>CALIDAD</b>	Aprobar cajas de cartón con especificaciones erradas	Insatisfacción del cliente	No hacer una lectura adecuada de la caja muestra Vs FT, por uso de tiempo en actividades que no corresponden al proceso de Calidad (Ingreso de material a la BPT)	Asignar el proceso de aprobación de estibas al área de producción, con el fin de que el analista de calidad realice verificaciones sobre el nivel del cumplimiento de las especificaciones.	Jefe de Aseguramiento de Calidad / Gerencia de Planta	31/08/2014
<b>CORRUGADOR</b>	Fabricar láminas con especificaciones diferentes a las FT	Incumplimiento a cliente	No hacer uso de las herramientas definidas para asegurar el cumplimiento de las especificaciones de las láminas corrugadas	Realizar entrenamiento a los operadores de máquina, en la identificación de defectos de producto y control de variables de proceso.	Jefe de Aseguramiento de Calidad / Asistente de Calidad	04/08/2014
	Fabricar cajas con láminas que no corresponde	Rechazo de cajas corrugadas	No identificar oportunamente las estibas producidas	Establecer un control que identifique las estibas producidas en el corrugador, con el fin de permitir que lleguen a la línea de producción 2 con las características requeridas.	Jefe de Aseguramiento de Calidad / Asistente de Calidad	30/08/2014
<b>PREALISTAMIENTO</b>	Alistamiento inadecuado de los insumos (Clises, troqueles, tintas)	Fabricar cajas de cartón con información que no corresponda	No se reparan los insumos antes de ser utilizados nuevamente en el proceso productivo	Crear Sticker, para identificar los insumos averiados, que contengan la información necesaria para hacer las reparaciones antes de procesar el nuevo pedido.	Supervisor de Producción / Operador de Impresoras	10/08/2014
				Disponer de un área exclusiva de producto no conforme en el área de prealistamiento.	Prealistador	30/09/2014
<b>LÍNEAS DE PRODUCCIÓN</b>	Fabricar cajas de cartón con especificaciones diferentes a las aprobadas por el cliente	Devolución y/o del producto Reproceso Pérdida del cliente	Interpretación inadecuada de las especificaciones del cliente	Creación de equipo de trabajo, para interpretar los requerimientos del cliente. Implementar visitas a los clientes de manera frecuente, para conocer sus procesos y el uso del empaque, con el fin de prevenir producción de materiales que no cumplen con sus especificaciones y brindar asesoría con respecto a sus necesidades.	Gerente de planta / Ingeniero de Empaques / Jefe de Aseguramiento de Calidad	25/08/2014
				Implementar metodología de análisis y solución de las fallas presentadas por parte del operador de máquina, con el fin de generar conciencia y compromiso en el desarrollo de sus actividades.	Gerente de Planta / Gestión Humana / Jefe de Aseguramiento de Calidad	04/08/2014
				Implementar un programa de reconocimiento a los operadores de máquina que se destaquen en su labor para garantizar la calidad del producto, con el fin de motivarlos a la disminución de fallas.	Jefe de Planeación	10/08/2014
				Programar los pedidos nuevos y con alto grado de dificultad, en horario de 8 a 4pm, de lunes a viernes, con el objeto de lograr un acompañamiento de las áreas técnicas en el proceso de producción.	Jefe de Planeación	10/08/2014
	Fabricar cajas de cartón con especificaciones diferentes a las aprobadas por el cliente	Insatisfacción del cliente Pérdidas económicas Incumplimiento al cliente	Incumplimiento del instructivo de inspección de cajas corrugadas	El operador debe tomar la primera caja que cumpla con las especificaciones, en ella registrar las medidas, textos y firma confirmando que cumple con los requerimientos. Estas cajas deben ser revisadas y validadas por el analista de calidad.	Operario de Impresora / Supervisor de Producción / Analista de Calidad	11/09/2014
<b>PLANEACIÓN</b>	Registrar especificaciones erradas en la OP (medidas, clave)	uso de láminas y/o cajas con	Agrupación de los pedidos de los clientes sin tener en cuenta las especificaciones particulares de cada uno	Implementar políticas de operación en el proceso, con el fin de garantizar que se cumplan las especificaciones de los materiales a producir.	Jefe de Planeación	07/07/2014

Fuente: Los autores.

## RESUMEN DEL PRIMER OBJETIVO:

- En la revisión de las herramientas existentes para la identificación de fallas en los procesos productivos, se escogió AMEF debido a que es un instrumento práctico que permite conocer en detalle cada una de las actividades que se llevan a cabo en las diferentes etapas del proceso, adicionalmente, es un instrumento pedagógico que lleva a los participantes paso a paso a identificar de qué forma su actividad puede ser un riesgo para la obtención del producto final. Así mismo, conduce a la toma de acciones concretas y reales sobre cómo este riesgo se puede mitigar o eliminar.
- A través de la integración de todas las etapas que inciden en el proceso de cartón corrugado de las líneas de producción, se logró identificar aquellas que son críticas y que requieren tratamiento inmediato para asegurar la calidad del producto.
- En cuanto a la metodología utilizada para el desarrollo de este objetivo se elaboró el diagrama de flujo, con el cual se identificaron los procesos que interactúan en la producción de cartón corrugado. Posteriormente, se utilizó la herramienta AMEF para identificar las fallas potenciales que afectan la fabricación y se determinó su nivel de atención, a continuación se indican los pasos a seguir:

**Ilustración 11.** Metodología para la identificación de las fallas potenciales del proceso productivo.

Elaborar el diagrama de flujo del proceso de producción objetivo.



Elaborar la matriz AMEF, teniendo en cuenta los diferentes procesos identificados en el diagrama de flujo.



Una vez calculado el NPR, priorizar las causas, a través de diagrama de Pareto.



Definir los tratamiento para los causales con más alta priorización (responsables y fechas).

**Fuente:** Los autores.

## 5.2. METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE CALIDAD Y DE NO CALIDAD

Este objetivo consistió en proponer una metodología para la cuantificación de los costos de calidad y de no calidad en un proceso productivo; para ello fue necesario revisar la estructura actual con la que cuenta la empresa objeto de estudio, identificando los costos PEF y estableciendo los indicadores económicos de calidad que impactan el proceso productivo.

### 5.2.1. Aplicación de los costos PEF e indicadores financieros del sistema de la calidad

De acuerdo con la revisión realizada al interior de la empresa, se estableció que no tiene definida una estructura de costos asociados a la calidad, sin embargo, la metodología utilizada para la identificación de éstos se realizó a través del PEF, que consiste en determinar y valorar los costos relacionados con prevenir desviaciones del producto, los que involucran la evaluación de éstos y las fallas (internas y externas) que impactan en la calidad del mismo, esta información fue tomada del primer semestre del año 2014. A continuación se relacionan los costos que actualmente se llevan a cabo en la empresa (Ver Tabla 11 Costos de Prevención, Evaluación y Fallas de la Empresa objeto de estudio):

**Tabla 11.** Costos de Prevención, Evaluación y Fallas de la Empresa objeto de estudio.

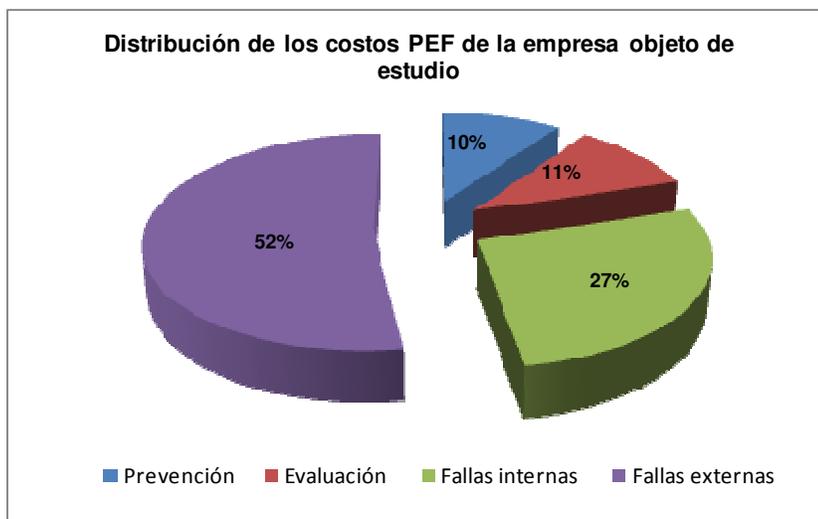
<b>Costos de prevención (P)</b>	<b>Valor en \$</b>
Auditorías del sistema de Calidad	\$ 70.000.000
Formación y entrenamiento en calidad	\$ 90.000.000
<b>Total Costos de P</b>	<b>\$ 160.000.000</b>
<b>Costos de Detección / Evaluación (E)</b>	<b>Valor en \$</b>
Calibración de equipos de medición y ensayo	\$ 174.200.000
<b>Total Costos E</b>	<b>\$ 174.200.000</b>
<b>Costos de Fallas Internas (FI)</b>	<b>Valor en \$</b>
Producto no conforme	\$ 449.916.020
<b>Total Costos FI</b>	<b>\$ 449.916.020</b>
<b>Costos de Fallas Externas (FE)</b>	<b>Valor en \$</b>
Productos rechazados y devueltos	\$ 862.293.040
<b>Total Costos FE</b>	<b>\$ 862.293.040</b>
<b>Costos de Conformidad (P + E)</b>	<b>\$ 334.200.000</b>
<b>Costos de no conformidad (FI + FE)</b>	<b>\$ 1.312.209.060</b>
<b>TOTAL GENERAL DE COSTOS</b>	<b>\$ 1.646.409.060</b>

**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

La información de la tabla anterior muestra que los costos totales de calidad actualmente son de \$1.646.409.060 de los cuales el 20% corresponden a los costos de prevención y evaluación, mientras que el 80% corresponden a costos de fallas (internas y externas), lo que indica que la empresa objeto de estudio gasta mayor dinero en atender las no conformidades que se identifican en los procesos,

situación que afecta no solamente el costo de fabricación de cartón corrugado, sino la imagen ante los clientes.

**Ilustración 12.** Distribución de los costos PEF de la empresa objeto de estudio.



**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

Con el fin de determinar el impacto que tienen estos costos en el proceso productivo, se construyeron indicadores de gestión económica de la calidad, los cuales se presentan a continuación<sup>26</sup>:

- Indicador de Fallas Internas en Producción (FIP). Permite medir porcentualmente la incidencia de los costos de fallas internas del sistema de producción en el total del costo de los bienes producidos y vendidos en un período (costo de ventas de cajas de cartón corrugado).

$$\text{FIP} = \text{Costo de fallas internas} / \text{Costo de Ventas}$$

**Tabla 12.** Comportamiento de Fallas Internas en Producción de Enero a Junio de 2014.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
<b>Costo de Fallas Internas</b>	\$89.352.560	\$68.600.880	\$87.040.670	\$139.285.560	\$35.772.700	\$29.863.650
<b>Costo de Ventas</b>	\$2.964.830.764	\$2.572.945.281	\$3.200.699.645	\$3.082.772.370	\$2.826.618.783	\$2.480.359.376
<b>% Fallas Internas de Producción</b>	<b>3,01%</b>	<b>2,67%</b>	<b>2,72%</b>	<b>4,52%</b>	<b>1,27%</b>	<b>1,20%</b>

**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

<sup>26</sup> Perdomo Burgos, A. (2010). Administración de los costos y gestión financiera de la calidad: ¿Cómo lograr en las empresas beneficios económicos y financieros reales con los sistemas de gestión de la calidad?, p.142.

La incidencia que presentó este indicador en el período de enero a junio de 2014 en promedio fue de 2,56%, sin embargo, se observa que los meses que presentaron mayor impacto fueron en el mes de enero con 3,01% y en el mes de abril con 4,52%. Aunque este indicador es bajo con respecto a los costos de producción de cartón corrugado, al momento de realizar la recolección de la información, no se contaba con la cuantificación de los rubros adicionales que afectan también el FIP, por consiguiente, es necesario identificar, detallar y cuantificar cada uno de los ítems que afectan las fallas internas del proceso productivo, cuando se implemente la metodología en la compañía.

- **Indicador de Fallas Externas en Ventas (FEV).** Calcula la participación de las devoluciones y rebajas en ventas con relación al total de las ventas de un período, es decir, en qué porcentaje de los productos vendidos son devueltos por problemas de mala calidad, así como las rebajas en los precios por la misma causa, en las empresas de servicios se toman los reprocesos.

**FEV = Devoluciones y rebajas en ventas / Ventas totales**

**Tabla 13.** Comportamiento de Fallas Externas en Ventas de Enero a Junio de 2014.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
<b>Costo de Fallas Externas</b>	\$185.807.480	\$134.497.430	\$50.268.900	\$46.363.650	\$145.652.130	\$299.73.450
<b>Ventas Totales</b>	\$3.333.569.219	\$2.925.448.837	\$3.652.087.267	\$3.506.232.163	\$3.234.330.312	\$2.833.843.534\$
<b>% Fallas Externas de Producción</b>	<b>5,57%</b>	<b>4,60%</b>	<b>1,38%</b>	<b>1,32%</b>	<b>4,50%</b>	<b>10,58%</b>

**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

Se observa que en el primer semestre de 2014 este indicador tuvo un promedio de 4,66%, sin embargo, en el mes de junio se presentó un incremento significativo del porcentaje de fallas externas en producción, el cual fue de 10,58%. Este incremento se generó por las devoluciones totales de materiales detectados por los clientes. Para este indicador se hace necesario establecer una meta con el fin de controlar los costos generados para las desviaciones que se puedan presentar, así mismo, para que su resultado sea más aproximado a la realidad es necesario identificar, detallar y cuantificar cada uno de los ítems que pueden desencadenar fallas externas en el proceso productivo.

- **Margen de Utilidad del cartón corrugado.** Esta utilidad se calcula obteniendo la suma de los valores porcentuales de fallas internas y externas, durante el período de enero a junio.

**Tabla 14.** Margen de Utilidad del Cartón Corrugado.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
<b>% Fallas Internas de Producción</b>	3.01%	2.67%	2.72%	4.52%	1.27%	1.20%
<b>% Fallas Externas de Producción</b>	5.57%	4.60%	1.38%	1.32%	4.50%	10.58%
<b>Total Porcentaje de fallas</b>	8.58%	7.27%	4.10%	5.84%	5.77%	11.78%
<b>Utilidad neta</b>	\$337.086.573	\$326.885.370	\$432.896.785	\$398.719.912	\$384.173.053	\$311.858.343

**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

De acuerdo con la tabla anterior, se establece que la empresa objeto de estudio está dejando de percibir un 20% de sus utilidades, debido a los costos de fallas (internas y externas), esto equivale a \$1.879.761.693 en el primer semestre de 2014.

- Incidencia de los costos de calidad. Este indicador permite establecer el porcentaje de inversión de la compañía en costos de prevención y evaluación.

**Tabla 15.** Incidencia de los costos de Prevención y Evaluación frente a los costos de ventas.

<b>Costos de Prevención / Costos de Venta</b>	\$160.000.000	<b>Costos de Detección y Evaluación / Costos de Ventas</b>	\$174.200.000
	\$17.128.226.218		\$17.128.226.218
<b>Porcentaje de Costos</b>	<b>0,93%</b>	<b>Total</b>	<b>1,02%</b>

**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

Para calcular este indicador, se tomaron los costos de ventas del primer semestre de 2014, es decir, un total de \$17.128.226.218. Al analizar el resultado de la incidencia de los costos de calidad de prevención y de evaluación con respecto a los costos de venta, se identifica que la empresa está invirtiendo 0,93% en llevar a cabo actividades que permitan prevenir alteraciones al proceso de producción de cartón corrugado, así mismo, se observa que la destinación de recursos para realizar controles de evaluación es de 1,02%. Con lo anterior se puede determinar que debido a que la empresa no cuenta con estadísticas de costos de calidad, estos resultados puntuales impiden afirmar si los valores encontrados son adecuados para establecer mecanismos de prevención y/o evaluación, por lo tanto, se sugiere desarrollar un seguimiento en el tiempo a estas variables para identificar su comportamiento y evaluar si hay necesidad de ajustes en el porcentaje de la inversión.

- Inversión en el Sistema de Calidad de la Producción (ISCP). Sirve para medir la inversión que realiza la empresa en los costos de prevención más los costos

de detección y/o evaluación con relación al costo total de los bienes producidos o vendidos en un período. Se trata de saber cuál es la participación de los costos de prevención y evaluación en el total de los costos de producción.

**ISCP = Costos del Sistema de Calidad de Producción (Costos de Prevención + Costos de Evaluación) / Costos de bienes producidos**

**Tabla 16.** Inversión en el sistema de calidad de la producción.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Prev y Ev.	\$41.081.657	\$22.226.811	\$53.605.252	\$72.625.041	\$86.193.290	\$36.241.139
Costo de Ventas	\$2.964.830.764	\$2.572.945.281	\$3.200.699.645	\$3.082.772.370	\$2.826.618.783	\$2.480.359.376
<b>ISCP</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	<b>2%</b>	<b>2%</b>	<b>3%</b>	<b>1%</b>

**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

De acuerdo con el cuadro anterior se identifica que la empresa objeto de estudio invirtió en el primer semestre del año 2014 en su sistema de calidad de producción entre el 1% y 2% del costo de ventas, exceptuando el mes de mayo que tuvo una inversión del 3%, esto debido a que se realizó una auditoría a las líneas de producción.

- Inversión Total en el Sistema de Calidad (ITSC). Sirve para analizar la relación entre la inversión total en el sistema de calidad (Costos totales de prevención más costos totales de detección y evaluación) y los costos totales de la empresa.

**ITSC = Costos Totales del Sistema de Calidad (Costos de Prevención + Costos de Evaluación) / Costos Totales (sumatoria de todos los costos y gastos de la empresa)**

**Tabla 17.** Inversión total en el sistema de la Calidad.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Prev y Ev.	\$41.081.657	\$22.226.811	\$53.605.252	\$72.625.041	\$86.193.290	\$36.241.139
Costos Totales	\$4.018.536.793	\$3.487.374.526	\$4.338.233.887	\$4.178.395.052	\$3.831.204.032	\$3.361.883.428
<b>ITSC</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	<b>2%</b>	<b>2%</b>	<b>1%</b>

**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

La tabla anterior muestra que la empresa objeto de estudio invirtió entre el 1% y 2%, de los costos totales en prevención y evaluación en el primer semestre de 2014.

## 5.2.2. Metodología para la cuantificación de costos de calidad y de no calidad

Al revisar el material disponible sobre metodologías de implementación de costos asociados a la calidad en empresas de producción, se identificó que no existe una herramienta que brinde una orientación sistemática para cuantificar las desviaciones que impactan en el proceso de cartón corrugado en las líneas de producción. Por lo anterior, como parte del desarrollo de este trabajo, se propone relacionar la cuantificación de los modos de fallo potencial identificados en la metodología AMEF con los costos PEF. A continuación se presenta un esquema de la aplicación propuesta (Ver Ilustración 13 Metodología de identificación de costos PEF a través de AMEF):

**Ilustración 13.** Metodología de identificación de costos PEF a través de AMEF.



Fuente: Los autores.

- Elaborar diagrama de flujo. Permite identificar cada una de las etapas que intervienen en el proceso objetivo.
- Construir la matriz AMEF. Se debe tener en cuenta los procesos identificados en el diagrama de flujo, definiendo en ellos las fallas potenciales que afectan el proceso objetivo. Una vez identificados, estos se priorizan a través del resultado del NPR, haciendo uso del Diagrama de Pareto. Una vez priorizados, se establecen los tratamientos propuestos a las causas identificadas.
- Identificar el tipo de costo (PEF). Identificar los costos de fallas internas y externas en los cuales incurre la compañía en un período determinado. Es posible que no se cuente con la información detallada de los costos, sin embargo, es necesario recopilar la información que más se relacione con los aspectos que estén afectando el proceso objetivo. Así mismo, se debe considerar el análisis de los costos de prevención y detección que realiza la compañía.

- Valorar el costo PEF de acuerdo con la etapa del proceso revisado. Relacionar los causas priorizadas en la matriz AMEF, identificando el costo en los cuales ha incurrido la empresa.
- Identificar el tipo de costo de detección o prevención. De acuerdo con el tratamiento propuesto en la matriz AMEF se identifica el tipo de costo relacionado con cada uno, posteriormente, se asigna un valor en la casilla siguiente.
- Establecer una meta para los indicadores de calidad. Después de construir los indicadores con la información recopilada, se establece una meta para controlar los costos de calidad.

A partir de la metodología propuesta anteriormente, se requiere registrar la información consolidada en la matriz de identificación de costos PEF a través de AMEF, según la Ilustración 14 (Matriz de identificación de costos PEF a través de AMEF) que se presenta a continuación:

**Ilustración 14.** Matriz de identificación de costos PEF a través de AMEF.

Descripción de las etapas del proceso	Modo de Falla Potencial o Riesgo	Efecto de Falla Potencial o Consecuencia	Causa	Controles actuales	Tipo de costo	Valoración del costo (\$)	Tratamiento propuesto	Tipo de Costo	Costo (\$)	Responsable	Fecha

**Fuente:** Los autores.

La matriz presentada en la Ilustración 10 (Tratamientos propuestos para eliminación o reducción de las causas), fue base de referencia para relacionar la metodología AMEF con los costos PEF identificados en los controles actuales y los tratamientos propuestos, la cual se resume a continuación:

**Ilustración 15.** Consolidado de matriz de identificación de costos PEF a través de AMEF para las líneas de producción.

Descripción de las etapas del proceso	Causa	Controles actuales	Tipo de costo	Valoración del costo (\$)	Tratamiento propuesto	Tipo de Costo	Costo (\$)	Responsable	Fecha		
<b>CALIDAD</b>	No hacer una lectura adecuada de la caja muestra Vs FT, por uso de tiempo en actividades que no corresponden al proceso de Calidad (Ingreso de material a la BPT)	Muestreos aleatorios	Interna	\$ 101.000.000	Asignar el proceso de aprobación de estibas al área de producción, con el fin de que el analista de calidad realice verificaciones sobre el nivel del cumplimiento de las especificaciones.	Detección	\$ 5.000.000	Jefe de Aseguramiento de Calidad / Gerencia de Planta	31/08/2014		
<b>CORRUGADOR</b>	No hacer uso de las herramientas definidas para asegurar el cumplimiento de las especificaciones de las láminas corrugadas	Se hacen Controles aleatorios a los pedidos dejando registro en un formato	Interna	\$ 298.301.890	Realizar entrenamiento a los operadores de máquina, en la identificación de defectos de producto y control de variables de proceso.	Prevención	\$ 40.000.000	Jefe de Aseguramiento de Calidad / Asistente de Calidad	04/08/2014		
	No identificar oportunamente las estibas producidas	Sin control definido	Externa	\$ 7.947.440	Establecer un control que identifique las estibas producidas en el corrugador, con el fin de permitir que lleguen a la línea de producción 2 con las características requeridas.	Detección	\$ -	Jefe de Aseguramiento de Calidad / Asistente de Calidad	30/08/214		
<b>PREALISTAMIENTO</b>	No se reparan los insumos antes de ser utilizados nuevamente en el proceso productivo	Sin control definido	Interna	\$ 13.000.000	Crear Sticker, para identificar los insumos averiados, que contengan la información necesaria para hacer las reparaciones antes de procesar el nuevo pedido.	Detección	\$ 6.000.000	Supervisor de Producción / Operador de Impresoras	10/08/2014		
					Disponer de un área exclusiva de producto no conforme en el área de prealistamiento.			Prealizador	30/09/2014		
<b>LÍNEAS DE PRODUCCIÓN</b>	Interpretación inadecuada de las especificaciones del cliente	Ficha Técnica	Interna	\$ 37.752.140	Creación de equipo de trabajo, para interpretar los requerimientos del cliente. Implementar visitas a los clientes de manera frecuente, para conocer sus procesos y el uso del empaque, con el fin de prevenir producción de materiales que no cumplen con sus especificaciones y brindar asesoría con respecto a sus necesidades.	Prevención	\$ 10.000.000	Gerente de planta / Ingeniero de Empaques / Jefe de Aseguramiento de Calidad	25/08/2014		
					Implementar metodología de análisis y solución de las fallas presentadas por parte del operador de máquina, con el fin de generar conciencia y compromiso en el desarrollo de sus actividades.			Prevención	\$ -	Gerente de Planta / Gestión Humana / Jefe de Aseguramiento de Calidad	04/08/2014
			Externa	\$ 271.984.710	Implementar un programa de reconocimiento a los operadores de máquina que se destaquen en su labor para garantizar la calidad del producto, con el fin de motivarlos a la disminución de fallas.	Prevención	\$ 40.000.000	Jefe de Planeación	\$ -	Operario de Impresora / Supervisor de Producción / Analista de Calidad	11/09/2014
					Programar los pedidos nuevos y con alto grado de dificultad, en horario de 8 a 4pm, de lunes a viernes, con el objeto de lograr un acompañamiento de las áreas técnicas en el proceso de producción.	Detección	\$ -				
	Incumplimiento del instructivo de inspección de cajas corrugadas	Formato de inspección de cajas corrugadas	Externa	\$ 70.268.400	El operador debe tomar la primera caja que cumpla con las especificaciones, en ella registrar las medidas, textos y firma confirmando que cumple con los requerimientos. Estas cajas deben ser revisadas y validadas por el analista de calidad.	Detección	\$ -				
<b>PLANEACIÓN</b>	Agrupación de los pedidos de los clientes sin tener en cuenta las especificaciones particulares de cada uno	Comparar la información del SISPRO Vs ingresado en las OP	Externa	\$ 70.268.400	Implementar políticas de operación en el proceso, con el fin de garantizar que se cumplan las especificaciones de los materiales a producir.	Prevención	\$ -	Jefe de Planeación	07/07/2014		
<b>Costos de no conformidad</b>				<b>\$ 800.254.580</b>	<b>Costo de conformidad</b>		<b>\$ 101.000.000</b>	<b>Costos Totales</b>	<b>\$ 901.254.580</b>		

**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

De acuerdo con la Ilustración 15 (Consolidado de matriz de identificación de costos PEF a través de AMEF para las líneas de producción), se estableció que el costo asociado a los controles actuales que fueron priorizados en el AMEF están generando fallas (internas y externas) por valor de \$800.254.580, que corresponden al 89% de los costos de no conformidad identificados en la Tabla 11 (Costos de Prevención, Evaluación y Fallas de la Empresa objeto de estudio).

Los costos de fallas, se pueden reducir estableciendo mecanismos de control, desde las mismas etapas de inicio de proceso de cartón corrugado hasta cuando este se encuentra listo para su distribución y entrega al cliente.

## RESUMEN DEL SEGUNDO OBJETIVO

- Con los indicadores de calidad establecidos se logró identificar cómo los costos asociados a fallas afectan las ventas totales de la compañía y los costos de fabricación, así mismo, se determinó cuál es el porcentaje que la compañía invierte en prevención y evaluación / detección. De igual manera, realizado el análisis de los indicadores se puede concluir que los costos de fallas en los cuales la empresa objeto de estudio incurre es superior a los costos de detección, es decir, hay un enfoque total a la corrección y no a la prevención de ocurrencia de fallas.
- También fue necesario identificar y cuantificar los costos PEF que actualmente tiene la empresa objeto de estudio, posteriormente, se elaboraron los indicadores de calidad con el fin de determinar el porcentaje que éstos representan en los costos de producción y en las ventas. A continuación, se propone la metodología para la cuantificación de los costos de calidad y de no calidad a partir de la matriz AMEF priorizada en el objetivo 1, finalmente, se totalizan los costos. A continuación se detallan los pasos:

**Ilustración 16.** Metodología para la cuantificación de los costos de calidad y de no calidad

Identificar y Cuantificar los costos PEF de la empresa objetivo

Construir indicadores de calidad a partir de la información recopilada

Construir la metodología para cuantificación de los costos PEF a través de la matriz AMEF

Totalizar los costos

**Fuente:** Los autores.

### **5.3. APLICACIÓN DE HERRAMIENTA DE CONTROL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN**

En este objetivo se pretende aplicar una herramienta de control del proceso de producción, que conduzca a la reducción de fallas.

En el planteamiento del problema se estableció que en el proceso de cartón corrugado se lleva un indicador de reclamos y de no conformes, los cuales tienen incluidos únicamente los costos de las cajas pero no los de reparación ni los de devolución. Así mismo, se detectó que la empresa objeto de estudio cuenta con procedimientos documentados, correspondientes al sistema de gestión de calidad, sin embargo, no está soportado en una herramienta estadística o numérica de apoyo que aporte al proceso.

Por lo anterior, para dar cumplimiento a este objetivo se tuvo en cuenta la aplicación de la herramienta QFD, la cual consiste en correlacionar las necesidades del cliente con los parámetros técnicos del producto. Inicialmente, se identificaron las necesidades generales que categorizan los requisitos de calidad, teniendo en cuenta el proceso de producción.

Luego de definir las necesidades de primer nivel, se continuó con la identificación de las especificaciones del cliente, éstas se encuentran consignadas en: las fichas técnicas del producto, en los acuerdos de calidad establecidos y en la información recopilada cuando se atienden quejas; las primeras contienen información general de los requisitos del cliente (Ver Anexo A. Ficha técnica de producto); las segundas, contienen una categorización de los defectos que se pueden presentar en el proceso, los cuales se clasifican en: críticos, mayores y menores (Ver Anexo B. Clasificación de defectos del cartón corrugado).

Para definir el peso ponderado de cada uno de los requisitos, se tuvo en cuenta las fallas reportadas con mayor frecuencia en el período de enero a junio de 2014 (Ver Ilustración 17).

**Ilustración 17.** Fallas reportadas con mayor frecuencia de Enero a Junio de 2014.



**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

Una vez identificadas las fallas reportadas con mayor frecuencia, se construyó una matriz QFD de primer nivel, orientada a relacionar estas fallas con los procesos que inciden en las líneas de producción y que fueron críticos en la evaluación del AMEF. A continuación se muestra esta relación:

**Ilustración 18.** Etapas del Proceso priorizados.

Etapas del Proceso Priorizados			
1 2,9%	2 9,0%	3 7,3%	4 80,8%
PLANEACIÓN	CORRUGADOR	PRELISTAMIENTO	LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

**Fuente:** Tomado información de Empresa objeto de estudio.

Seguidamente, se procedió a cuantificar el nivel de relación entre cada qué (cliente) y cada cómo (etapa del proceso priorizado), es decir, “evaluar en qué medida cada cómo influye sobre los qué”:

- Fuerte → 9.
- Media → 3.
- Ligera → 1.
- No hay relación → No se califica.

El resultado de la evaluación se presenta a continuación:

Ilustración 19. Casa de la Calidad Empresa objeto de estudio – Nivel 1.

				1	2	3	4
				2,9%	9,0%	7,3%	80,8%
Requisitos de Calidad Nivel 1	No	Requisitos del Calidad Nivel 1	Peso Ponderado	PLANEACIÓN	CORRUGADOR	PREALISTAMIENTO	LINEAS DE PRODUCCIÓN
Proceso	1	Aleta pegada	36%				9
	2	Unidades completas	18%				9
	3	Caja descuadrada	11%		1		9
	4	Dimensiones de acuerdo a la especificación	7%	3	9		9
	5	No tener mezclar No. De lote	7%		3	3	9
	6	Que las cajas no lleguen pegadas una con otra	7%				9
	7	La tonalidad de la caja debe ser la especificada	4%	3		3	9
	8	Textos Legibles	4%			3	9
	9	La caja debe ir con la impresión completa	4%			9	9
	10	Los escores no deben presentar fractura	2%		3		9
			100%	PLANEACIÓN	CORRUGADOR	PREALISTAMIENTO	LINEAS DE PRODUCCIÓN
		Importancia técnica absoluta y relativa		0,3	1,0	0,8	9,0

Fuente: Tomado información de Empresa objeto de estudio.

De acuerdo con la Ilustración 19 (Casa de la Calidad Empresa objeto de estudio – Nivel 1), se identifica que los aspectos que requieren mayor atención en los procesos priorizados se encuentran en la etapa de las líneas de producción, la cual se encuentra con una valoración de 9, esto indica que todos los controles propuestos deben estar enfocados a reducir el riesgo de incidencia de fallas principalmente en esta etapa. Este resultado es coherente con la Ilustración 6 (Fallas potenciales identificadas en las líneas de producción de la empresa objeto de estudio, según etapas del proceso), donde el NPR arrojó una valoración de 512 y corresponde a la descripción de la etapa de proceso que requiere un tratamiento inmediato.

Una vez realizada la comparación de primer nivel de los requisitos de calidad con las etapas del proceso priorizado, se hizo necesario establecer los parámetros técnicos que permiten controlar los requisitos de calidad, para ello, se identificaron las variables de proceso y de producto que deben ser controladas para asegurar el cumplimiento de los parámetros establecidos según sus características (Ver Ilustración 20 Parámetros técnicos para control del proceso).

**Ilustración 20.** Parámetros técnicos para control del proceso.

Parámetros de Técnicos									
1 24,4%	2 10,7%	3 5,5%	4 6,1%	5 2,9%	6 6,5%	7 24,4%	8 10,7%	9 6,2%	10 2,4%
Viscosidad del pegante	Contador de unidades/paq ajustado	Flexometro calibrado	Clises bien elaborados	Realizar despeje de línea	Viscosida de la tinta de acuerdo a especificación	Aplicador de adhesivo limpio	Masas escoreadoras sin desgaste	Láminas de carton en buenas condiciones	Carta de colores GCMI

**Fuente:** Tomado información de Empresa objeto de estudio.

**Ilustración 21.** Casa de la Calidad Empresa objeto de estudio – Nivel 2.

Voz del Cliente				Parámetros de Técnicos									
Requisitos de Calidad Nivel 1	No	Requisitos del Calidad Nivel 2	Peso Ponderado	1 25,0%	2 10,5%	3 6,1%	4 4,9%	5 4,1%	6 5,4%	7 25,0%	8 11,6%	9 4,8%	10 2,6%
				Viscosidad del pegante	Contador de unidades/paq ajustado	Flexometro calibrado	Clises bien elaborados	Realizar despeje de línea	Viscosida de la tinta de acuerdo a especificación	Aplicador de adhesivo limpio	Masas escoreadoras sin desgaste	Láminas de carton en buenas condiciones	Carta de colores GCMI
Proceso	1	Aleta pegada	36%	9						9			
	2	Unidades completas	18%		9								
	3	Caja descuadrada	11%			3					9	3	
	4	Dimensiones de acuerdo a la especificación	7%			9					9		
	5	No tener mezclar No. De lote	7%					9					
	6	Que las cajas no lleguen pegadas una con otra	7%	9						9			
	7	La tonalidad de la caja debe ser la especificada	4%				1		9				9
	8	Textos Legibles	4%				9		9			9	1
	9	La caja debe ir con la impresión completa	4%				9		3				
	10	Los escotes no deben presentar fractura	2%								9	3	
			100%	Viscosidad del pegante	Contador de unidades/paq ajustado	Flexometro calibrado	Clises bien elaborados	Realizar despeje de línea	Viscosida de la tinta de acuerdo a especificación	Aplicador de adhesivo limpio	Masas escoreadoras sin desgaste	Láminas de carton en buenas condiciones	Carta de colores GCMI
			Importancia técnica absoluta y relativa	3,9	1,6	1,0	0,8	0,6	0,8	3,9	1,8	0,8	0,4

**Fuente:** Tomado información de Empresa objeto de estudio.

De acuerdo con el resultado obtenido para cada parámetro técnico se identificó que los aspectos que más requieren de un tratamiento inmediato son: viscosidad del pegante y aplicador de adhesivo limpio, ambos con una valoración de 3,9. La falta de control en estos dos aspectos hace que se genere el defecto de aleta despegada, el cual se convirtió en una falla reiterativa en todas las líneas de producción hacia todos los clientes. Es así como la compañía se acostumbró al reporte continuo de esta falla, por lo cual, definió la elaboración de notas créditos con el fin de solucionar el problema al cliente, sin que haya una solución de raíz para esta causa. Así mismo, se establecieron notas contables para todos los defectos que se presentan con mayor frecuencia dentro del proceso de fabricación, frente a lo cual la empresa ha argumentado que ésta es la capacidad de proceso, sin embargo, se han identificado las causas que generan las desviaciones, pero no se han definido los planes.

Como parte del desarrollo del proyecto, se establecieron las acciones a tomar para dar tratamiento a los parámetros técnicos que requieren mayor atención en el Nivel 2, debido a que las acciones de Nivel 1 se establecieron en los tratamientos propuestos en la Ilustración 10 (Tratamientos propuestos para eliminación o reducción de las causas), éstos no serán contemplados en las actividades propuestas. A continuación se presentan las acciones de mejora a prevenir en el Nivel 2:

**Ilustración 22.** Acciones de mejora para prevenir las fallas.

Términos del focus group	Importancia técnica absoluta y relativa	Acciones de mejora para prevenir las fallas	Costo
Viscosidad del Pegante	3,9	Hermetizar el recipiente del adhesivo para evitar que el polvillo y el ambiente modifique las propiedades.	-
Aplicador de adhesivo limpio		Implementar frecuencia de lavado del sistema de aplicación de adhesivo, con el fin de que no haya taponamiento por el adhesivo almacenado en los orificios.	\$ 5.000.000
Masas escoreadoras sin desgaste	1,8	Mantener despejado de residuos de Cartón la sección de pegue.	\$ 8.000.000
Contador de unidades por paquete ajustado	1,6	Establecer frecuencia semanal de verificación del contador, con el fin de garantizar su adecuado funcionamiento.	-
		Colocar en la tabla emparejadora de paquetes, un dispositivo que permita medir la altura de los mismos y así asegurar las unidades de cada paquete.	\$ 10.000.000
Flexometro Calibrado	1,0	Establecer frecuencia (cada 15 días) de revisión a los flexómetros de los operadores, con el fin de identificar si el equipo utilizado se encuentra calibrado.	\$ 40.000.000,00
		Expedir comunicado donde indique que el operador debe registrar los valores de las mediciones realizadas sobre la caja muestra que tome de cada lote fabricado.	-
<b>Total Costos</b>			<b>\$ 63.000.000</b>

Fuente: Los autores.

Para la implementación de las acciones, se contó con el apoyo del equipo de aseguramiento de calidad de la empresa objeto de estudio, así como de los supervisores de producción y del operador líder de máquina. Estas acciones fueron basadas en la metodología Poka – Yoke, ya que esta indica que con soluciones sencillas se logran importantes resultados, adicionalmente, esta herramienta era mucho más fácil de adaptar a la planta y a sus operarios.

Con la implementación de estas acciones se espera reducir los costos y frecuencia de falla debido a la aleta despegada, la caja descuadrada y el faltante de unidades en paquetes, que son los rubros que presentan el mayor nivel de reclamaciones por parte de los clientes.

### **RESUMEN DEL TERCER OBJETIVO:**

- Una vez detectados los costos de calidad y de no calidad, en los cuales la compañía incurría por prevención, evaluación / detección y fallas (internas y externas), se identificó que los más altos estaban en estos últimos, debido a los frecuentes reprocesos. Considerando lo anterior, se procedió a establecer una metodología que permitiera reducir las fallas existentes, orientada a identificar los requerimientos del cliente como consecuencia de las reclamaciones y no conformes presentados con una alta periodicidad.
- Al realizar la matriz de relación de primer nivel (Casa de la Calidad Empresa objeto de estudio), se logró identificar que el proceso de las líneas de producción presenta un riesgo alto para el cumplimiento de los requisitos del cliente, lo evidenciado en esta metodología es coherente con lo identificado en la matriz AMEF del objetivo N° 1, donde la prioridad de riesgo para este proceso es el más alto, con una valoración de NPR de 512, así mismo, en el QFD de primer nivel tuvo una calificación de 9, la más alta comparada con los otros procesos.
- Para el cumplimiento de este objetivo se aplicó la herramienta QFD, en la cual se logró conocer de las partes interesadas las especificaciones más importantes del proceso de cartón corrugado, así mismo, permitió identificar los controles que la empresa objeto de estudio debe considerar para satisfacer las especificaciones del producto, para ello, se aplicó la matriz de correlación con la cual se detectó cuáles eran las variables técnicas que requerían atención inmediata. Posteriormente, se definieron las acciones de mejora que permitirán la disminución de los causales de no conformidades y quejas que se presentan con mayor frecuencia.

**Ilustración 23.** Metodología de control del proceso de producción.

Conocer de las partes interesadas las especificaciones más importantes del proceso de cartón corrugado (Definir los qué)

Establecer los parámetros técnicos a considerar para satisfacer las especificaciones del producto (Definir los cómo)

Cuantificar el nivel de relación entre cada qué (cliente) y cada cómo (parámetros técnicos)

Identificar los parámetros técnicos que requieren mayor atención

Definir acciones de mejora para la disminución de los causales que se presentan con mayor frecuencia

**Fuente:** Los autores

## **5.4. PRUEBA PILOTO DE LAS HERRAMIENTAS APLICADAS**

Por último, el objetivo a desarrollar en este trabajo de grado fue realizar una prueba piloto de las herramientas aplicadas y analizar los resultados alcanzados.

### **5.4.1. Descripción de la metodología aplicada en la prueba piloto**

Para el desarrollo y puesta en marcha de la prueba piloto, se realizó un paso a paso que condujo a la aplicación de las metodologías y acciones propuestas en cada objetivo. A continuación se describe detalladamente los pasos desarrollados:

#### **Paso 1.**

Conformación del equipo de gestión para solucionar los problemas de calidad encontrados en el producto terminado, integrado por los Analistas de Calidad, Asistente de Calidad y Supervisores de Producción.

#### **Paso 2.**

Reunión con equipos de trabajo de las tres líneas de producción, con el fin de mostrar el panorama de la compañía, el incremento del número de reclamaciones y no conforme y los costos en que se incurre por las fallas presentadas; esta información incluyó correos de clientes y evidencias fotográficas. En este paso se dio a conocer el equipo de trabajo.

### **Paso 3.**

Se definió conjuntamente con el equipo de trabajo la política operativa, la cual se presenta a continuación:

#### **Ilustración 24.** Política Operativa de revisión de caja de muestra.

El Operario de Máquina debe tomar una caja de muestra por cada lote de producción se que se considere conforme para el cliente, en ella se debe registrar la siguiente información: Lectura adecuada de textos y medidas de la caja; estos criterios los debe comparar con la ficha técnica. Esta caja es firmada por Operario de Máquina y su Ayudante Principal como evidencia de realización de esta labor, el Analista de Calidad verifica que esta instrucción sea cumplida, así mismo, el Supervisor de Producción realiza inspecciones aleatorias para asegurar que se dé cumplimiento.

**Fuente:** Tomado información de Empresa objeto de estudio.

### **Paso 4.**

Con el fin de motivar a los operadores a mejorar sus técnicas de control de proceso, se creó un programa de calidad que consiste en dar un reconocimiento a los operadores por su buena labor durante el mes. El programa se llama “**Los Calidosos Cartoneros**”. En este caso se entrega un diploma y se les ofrece un desayuno. Al finalizar el año el operador que más puntos haya alcanzado se le hará un reconocimiento junto con su familia.

### **Paso 5.**

Se establecieron visitas a los clientes con el fin de escuchar su voz (necesidades, acuerdos de calidad y especificaciones técnicas) – éstas se registraron en el formato Visitas cliente (Anexo C Reporte de visita), adicionalmente, se brindó asesoría y capacitaciones a las empresas con el fin de lograr que ellos realicen un adecuado uso del cartón corrugado y, cuando sea necesario, dar acompañamiento hasta su cliente final. Las observaciones hechas por los clientes son dadas a conocer a los operadores de máquina.

### **Paso 6.**

Ante la presencia de un evento de no conforme o reclamo, se cita al operador a la oficina de calidad, para que ellos mismos indiquen las causas del no conforme y planteen las acciones a tomar, esta acción se socializa con las demás líneas de producción para que la acción se estandarice.

**Paso 7.**

Se solicitó al proveedor de la tinta brindar asistencia permanente (lunes a viernes) en la planta, con el fin de asesorar a los operadores de máquina en el manejo adecuado de la tinta. Esta asistencia ayudó a minimizar reclamaciones por uso inadecuado.

**Paso 8.**

Para que el cliente tenga un mejor acercamiento con las etapas de fabricación de cartón corrugado, son traídos a la planta para que conozcan el proceso productivo y tengan información de primera mano sobre los aspectos por los cuales se pueden presentar las desviaciones del producto. Adicionalmente, fueron involucrados en las pruebas industriales.

**5.4.2. Análisis de los resultados alcanzados**

Con el fin de evaluar la eficacia de las herramientas aplicadas, a continuación se realiza un análisis de los datos obtenidos en los tres meses de prueba de 2014 (Julio, Agosto y Septiembre). En el análisis se revisó la ejecución de los tratamientos propuestos con su evaluación a través de la matriz AMEF, la información detallada sobre la cantidad de fallas internas y externas, así como la cuantificación de los costos de calidad y no calidad.

- **Revisión de la Matriz AMEF**

En esta revisión no se tuvo en cuenta la etapa de Calidad por cuanto los controles que se llevan a cabo en esta fase están orientados a la prevención de desviaciones del proceso. A continuación se presentan los resultados:

**Ilustración 25.** Fallas potenciales identificadas en las líneas de producción de la empresa objeto de estudio, según etapas del proceso - Prueba piloto.

**ANÁLISIS AMEF PARA LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE CARTÓN - RESULTADOS OBTENIDOS**

Descripción de las etapas del proceso	Modo de Falla Potencial o Riesgo	Efecto de Falla Potencial o Consecuencia	S	Causa	O	TRATAMIENTOS PROPUESTOS	D	NPR	NPR INICIAL	% Efectividad
PLANEACIÓN	Registrar especificaciones erradas en la OP (medidas, clave)	Rechazo de láminas y/o cajas corrugadas	4	Agrupación de los pedidos de los clientes sin tener en cuenta las especificaciones particulares de cada uno	6	Consultar con el área de servicliente, Ingeniería de empaques ó calidad, la viabilidad ante cualquier cambio en las especificaciones en la fabricación de los pedidos	2	48	96	50%
CORRUGADOR	Fabricar láminas con especificaciones diferentes a las FT	Incumplimiento a cliente	4	No hacer uso de las herramientas definidas para asegurar el cumplimiento de las especificaciones de las láminas corrugadas	6	Entrenamiento en la identificación de defectos, del proceso de corrugador y control de variables de proceso	4	96	144	33%
PREALISTAMIENTO	Alistamiento inadecuado de los insumos (Clises, troqueles, tintas)	Fabricar cajas de cartón con información que no corresponda	6	No se reparan los insumos antes de ser utilizados nuevamente en el proceso productivo	6	Crear Sticker, para identificar los insumos averiados, que contengan la información necesaria para hacer las reparaciones antes de procesar el nuevo pedido	2	72	144	50%
LÍNEAS DE PRODUCCIÓN	Fabricar cajas de cartón con especificaciones diferentes a las aprobadas por el cliente	Insatisfacción del cliente	8	Incumplimiento del instructivo de inspección de cajas corrugadas	8	El operador debe tomar una muestra de cada lote que cumpla con las especificaciones, en ella registrar las medidas, textos y firma confirmando que cumple con las especificaciones. Estas cajas deben ser revisadas y validadas por el analista de calidad.	2	128	512	75%
		Pérdidas económicas								
		Incumplimiento al cliente								
		Devolución y/o del producto	8	Interpretación inadecuada de las especificaciones del cliente	4	Creación de equipo de trabajo, para interpretar los requerimientos del cliente. Implementar visitas al cliente, para conocer sus procesos y el uso el empaque con el fin de prevenir producción de materiales que no cumplen con sus requerimientos.	2	64	128	50%
		Reproceso								
		Pérdida del cliente								
								408	1024	60%
S: Severidad      O: Ocurrencia      D: Detección      NPR: Número de prioridad de riesgo										

Fuente: Los autores.

Para la realización de este análisis se tomó como base la primera matriz AMEF presentada en la Ilustración 6 (Fallas potenciales identificadas en las líneas de producción de la empresa objeto de estudio, según etapas del proceso), posteriormente, se valoró el NPR de los tratamientos ejecutados y éstos fueron comparados con los NPR inicial.

Con la ejecución de estas acciones se obtuvo una reducción del 60% del nivel de riesgo, obteniendo en el proceso de las líneas de producción la mayor reducción, la cual fue del 75%. Esta acción estuvo orientada a dar cumplimiento a la política definida en el Paso 3, de igual manera, la conformación del equipo de trabajo permitió establecer controles en cada uno de los procesos.

- **Indicadores financieros del sistema de la calidad**

Después de las acciones tomadas, se realizó análisis de cada uno de los indicadores de calidad propuestos en el objetivo N° 2, con el fin de evaluar su comportamiento. A continuación se presentan los resultados:

**Tabla 18.** Comparativo del Indicador FIP Primer Trimestre de 2014 Vs Tercer Trimestre de 2014.

Mes	Primer Trimestre de 2014 (Ene – Mar)	Tercer Trimestre de 2014 (Jul – Sep)	% de Reducción
<b>Costo de Fallas Internas</b>	\$244.994.110	\$60.423.690	75%
<b>Costo de Ventas</b>	\$8.738.475.690	\$8.433.946	3%
<b>% Fallas Internas de Producción</b>	<b>2,80%</b>	<b>0,72%</b>	<b>74%</b>

**Fuente:** Tomado de información Empresa objeto de estudio.

La incidencia del indicador de fallas internas en producción muestra una reducción en el período de Julio a Septiembre de 74% con respecto al primer trimestre de 2014, lo anterior obedece a los controles implementados en las diferentes etapas del proceso de producción.

En cuanto al indicador de fallas externas, se evidenció una reducción del 27% en el trimestre evaluado comparado con el primer trimestre de 2014, este indicador no es fácil llevarlo a un nivel mínimo pues los controles se realizan bajo muestreos y en ocasiones no se alcanzan a detectar fallas antes de ser enviadas al cliente.

**Tabla 19.** Comparativo del Indicador FEV Primer Trimestre de 2014 Vs Tercer Trimestre de 2014.

Mes	Primer Trimestre de 2014 (Ene – Mar)	Tercer Trimestre de 2014 (Jul – Sep)	% de Reducción
<b>Costo de Fallas Internas</b>	\$370.573.810	\$261.745.010	29%
<b>Ventas Totales</b>	\$9.911.323	\$9.614.646.676	3%
<b>% Fallas Internas de Producción</b>	<b>3,74%</b>	<b>2,72%</b>	<b>27%</b>

**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

De igual manera, haciendo una comparación de la inversión de los costos de prevención y de detección del trimestre evaluado con respecto al primer trimestre de 2014, se identificó que en el periodo de Julio a Septiembre hubo una inversión de 1,53% de costos de prevención y de evaluación, mientras que en el primer trimestre la inversión fue de 1,95%. Así mismo, se evidencia que los costos de prevención en el primer trimestre fueron de 0,93%, mientras que los de evaluación fueron de 1,02%, caso contrario ocurrió en el tercer trimestre de 2014, donde se presentó incremento en los costos de prevención, los cuales fueron de 1,16% y el de evaluación de 0,37% (Ver Tabla 20 Comparativo del Indicador Costo de Prevención y Detección).

**Tabla 20.** Comparativo del Indicador Costo de Prevención y Detección.

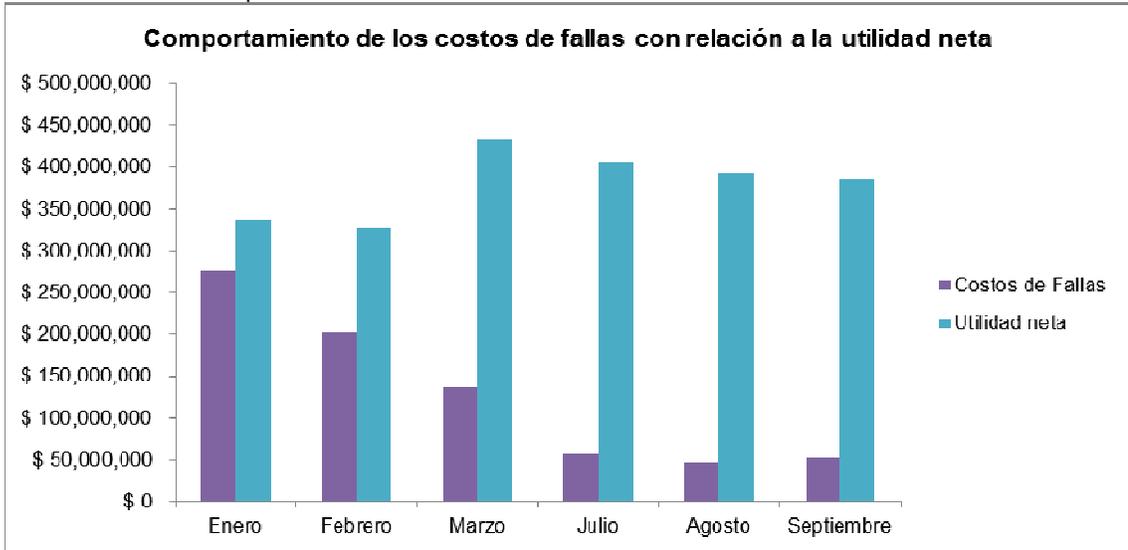
	<b>Primer Trimestre de 2014 (Ene – Mar)</b>	<b>Tercer Trimestre de 2014 (Jul – Sep)</b>
<b>COSTOS DE PREVENCIÓN / COSTOS DE VENTA</b>	\$160.000.000	\$195.600.000
	\$17.128.226.218	\$16.866.151.892
Porcentaje de Costos	0,93%	1,16%
<b>COSTOS DE DETECCIÓN Y EVALUACIÓN / COSTOS DE VENTAS</b>	\$174.200.000	\$63.000.000
	\$17.128.226.218	\$16.866.151.892
<b>Porcentaje de Costos</b>	1,02%	0,37%
<b>Suma</b>	<b>1,95%</b>	<b>1,53%</b>

**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

El incremento en los costos de prevención se debió a que la empresa objeto de estudio realizó capacitaciones adicionales a los Operarios de Máquinas en temas de manejo técnico de las mismas, pruebas piloto y asistencias técnicas a los clientes; por esta razón, este indicador tuvo un incremento del 19% comparado con el primer trimestre de 2014, pasando de 0,93% a 1,16%, con una inversión adicional de \$35.600.000. En cuanto a los costos de detección y evaluación, se identificó que este indicador tuvo una disminución del 63% al pasar de 1,02% al 0,37%, con un ahorro \$111.000.000, esto se debió a que las actividades de inspección de insumos, inspección de equipos de trabajo y pruebas de laboratorio se asignaron a la Asistente de Calidad para no generar horas extras del Auxiliar de Calidad.

Ahora bien, realizando una revisión del comportamiento de los costos de fallas con respecto a la utilidad neta de la compañía, correspondiente al primer trimestre (enero - marzo) con respecto al trimestre de la prueba piloto (julio-septiembre) se identificó una reducción significativa de los costos de falla en el último trimestre de 2014 (Ver Ilustración 26 Comportamiento de los costos de fallas con relación a la utilidad neta).

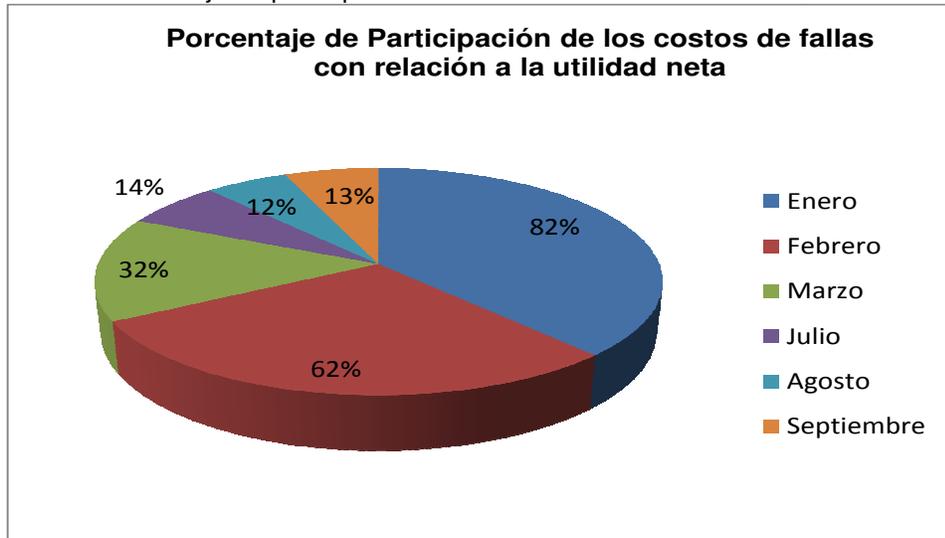
**Ilustración 26.** Comportamiento de los costos de fallas con relación a la utilidad neta.



**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

En la siguiente ilustración, se evidencia en el primer trimestre del año 2014 un porcentaje de participación de 32% en el mes de enero, 62% en febrero y 82% en marzo de los costos de falla con relación a las utilidades; diferente ocurre en el período de la prueba piloto donde este porcentaje se redujo considerablemente a 14% en julio, 12% agosto y 13% septiembre. (Ver Ilustración 27 Porcentaje de participación de los costos de fallas con relación a la utilidad neta).

**Ilustración 27.** Porcentaje de participación de los costos de fallas con relación a la utilidad neta.



**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio

- Rentabilidad de la Inversión en el Sistema de Calidad (RISC). Con base en los resultados de prevención y evaluación obtenidos en la prueba piloto, los cuales fueron de \$258.600.000, se propuso estimar los objetivos anuales de reducción de costos de no calidad (fallas internas y externas) con el fin de amortizar la inversión en un período más amplio. Para ello se plantearon tres escenarios con los cuales se estimó la rentabilidad anual de la inversión a obtener, a continuación se presentan los datos:

**Tabla 21.** Escenarios objetivos para la reducción de costos de costos de fallas (internas y externas).

<b>Objetivos anuales de reducción de costos de no calidad</b>	<b>3%</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>
Valor reducción en costos RCFIE (ANUAL)	\$38.660.244	\$51.546.992	\$64.433.740
Inversión Anual en el sistema de Calidad	\$258.600.000	\$258.600.000	\$258.600.000
Costo Total de Fallas internas(anual)	\$1.288.674.800	\$1.288.674.800	\$1.288.674.800
<b>Rentabilidad Anual de la inversión(RISC)</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>	<b>25%</b>

**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

La tabla anterior nos indica que al tener como objetivo una reducción del 3% en costos de no calidad, la empresa tendría una rentabilidad anual de la inversión del 15%, de igual manera, para un objetivo del 4% la rentabilidad anual sería del 20% y para un objetivo del 5% la rentabilidad sería del 25%.

### • **Resultados del QFD**

Para efectos de esta prueba piloto, se tuvo en cuenta los resultados de la matriz de correlación de Nivel 2, donde se incorporaron los requisitos de calidad (la voz del cliente) con respecto a los parámetros técnicos, estos requisitos fueron identificados a través de las quejas y no conformidades reportadas por los clientes y orientaron en la identificación del comportamiento de un período a otro. A continuación se analizan los resultados obtenidos con respecto a las fallas internas y externas después de haber aplicado los planes de acción establecidos en el Objetivo N° 3:

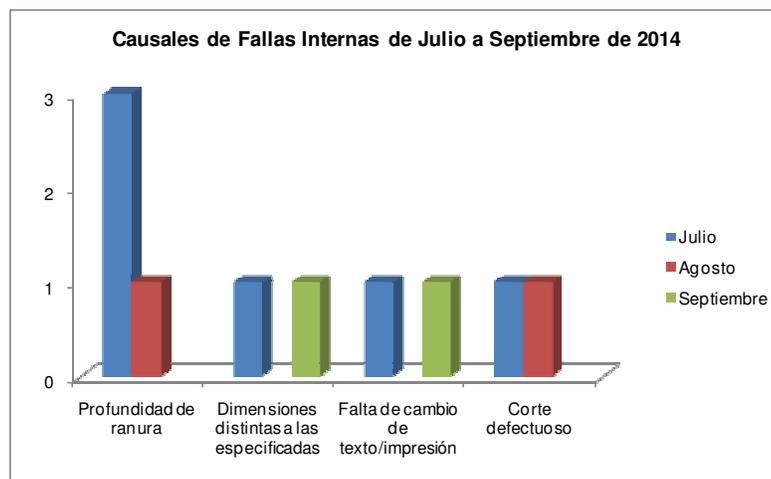
### **Número de Fallas Internas y Externas**

En el planteamiento del problema de este trabajo de grado, las fallas internas y externas fueron presentadas de manera general y unificada, debido a que no se contaba con una metodología que permitiera identificarlas y clasificarlas adecuadamente.

A continuación se presenta información de las fallas internas y externas identificadas en el período de medición.

Fallas Internas. Durante el trimestre evaluado se identificaron cuatro tipos de fallas que afectaron el proceso de producción de cartón corrugado en las tres líneas, éstas fueron: Profundidad de ranura, Medidas diferentes a las especificadas, Falta de cambio de texto o impresión y Corte defectuoso. A continuación se presenta el comportamiento de estas fallas.

**Ilustración 28.** Causales de Fallas internas de Julio a Septiembre de 2014.

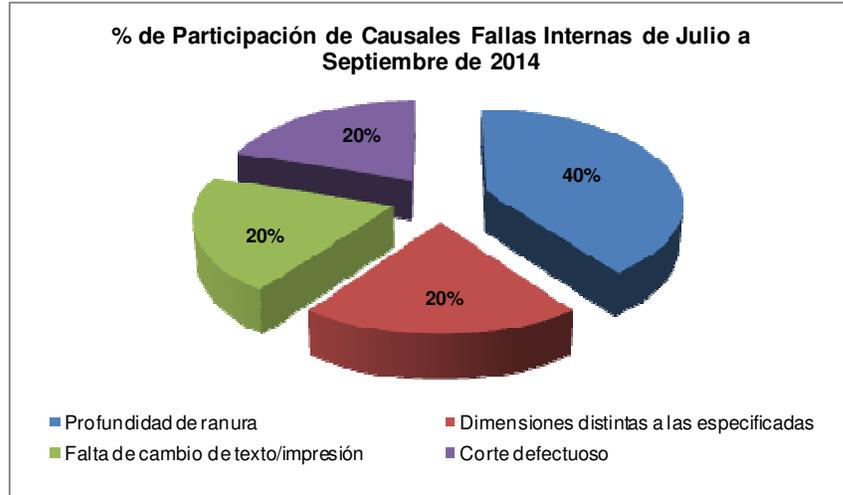


**Fuente:** Tomado de información de Empresa objeto de estudio.

De acuerdo con la Ilustración anterior, en el mes de Julio se presentó el mayor número de fallas internas, es decir un total de seis eventos, mientras que en los meses de Agosto y Septiembre sólo se presentaron dos novedades en cada uno. Este comportamiento se debió a que en el primer mes de ejecución de la prueba piloto se estaban definiendo los detalles de la aplicación de la metodología trabajo.

De igual manera, de acuerdo con la Ilustración 29 (% de Participación de Causales Fallas internas de Julio a Septiembre de 2014), del 100% de los causales de fallas internas, el 40% correspondió a la falla de profundidad en la ranura, siendo ésta la que tuvo mayor incidencia en el período evaluado. Esta situación se generó debido una variación en el cuerpo ranurador de la sección que realiza el corte del canal de la caja, para solucionarla, el área de mantenimiento calibró el eje donde se ubican las cuchillas ranuradoras. Adicionalmente, con esta situación se determinó dar estricto cumplimiento a los programas de mantenimiento de las líneas de producción, pues aunque se cuenta con un cronograma establecido no se estaba ejecutando debido al alto nivel de producción que se ha presentado en los últimos meses.

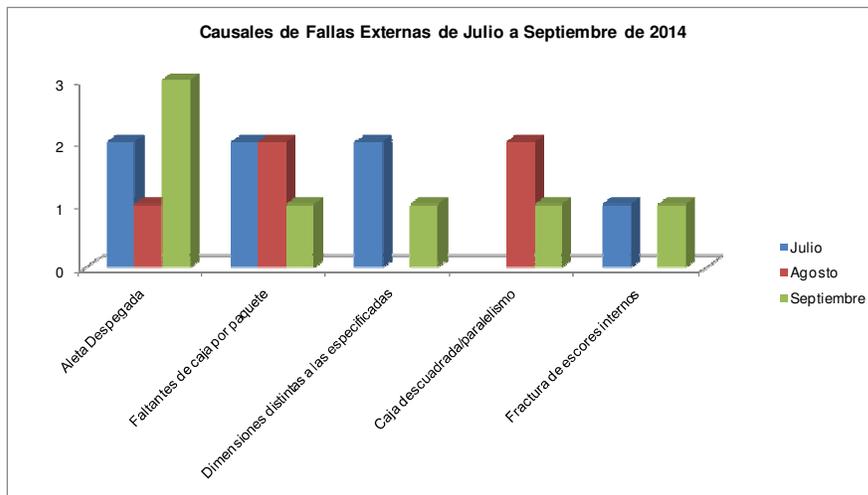
**Ilustración 29.** % de Participación de Causales Fallas internas de Julio a Septiembre de 2014.



**Fuente:** Tomado de Empresa objeto de estudio.

Fallas Externas. En la prueba piloto realizada en los meses de Julio, Agosto y Septiembre, se presentaron veintiún eventos representados en seis causales: Aleta Despegada, Faltantes por paquete, Escores mal definidos, Dimensiones distintas a las especificadas, Caja descuadrada/paralelismo y Fractura de escores internos, según se presenta a continuación:

**Ilustración 30.** Causales de Fallas internas de Julio a Septiembre de 2014.



**Fuente:** Tomado de Empresa objeto de estudio.

De acuerdo con la Ilustración anterior, en los meses de Julio y Septiembre se presentó el mayor número de fallas externas, es decir un total de siete en cada uno, mientras que en el mes de Agosto se presentaron cinco.

De igual manera, del 100% de los causales de fallas externas, el 32% correspondió a aleta despegada y el 26% a faltantes por paquete, como se muestra la siguiente Ilustración.

**Ilustración 31.** % de Participación de Causales Fallas Externas de Julio a Septiembre de 2014.



**Fuente:** Tomado de Empresa objeto de estudio.

Ahora bien, teniendo en cuenta que para el desarrollo de la prueba piloto de este trabajo de grado sólo se pudo realizar durante un lapso de tres meses, se consideró pertinente comparar los resultados de las fallas tanto internas como externas identificadas en el planteamiento del problema (en los meses de Enero a Marzo), con respecto a las fallas detectadas en el período evaluado (en los meses de Julio a Septiembre de 2014); evidenciando que en el primer trimestre se presentaron 52 eventos, mientras que en tiempo analizado se presentaron 29; lo cual indica que en este último hubo una reducción del 44% con respecto al primer trimestre del año.

A continuación se presenta un comparativo de las causales de reclamos y no conformes que se identificaron con mayor frecuencia en ambos trimestres (Ver Tabla 22 Comparativo de reclamos y no conformes presentados en los trimestres evaluados).

**Tabla 22.** Comparativo de reclamos y no conformes presentados en los trimestres evaluados.

N°	Causales de reclamos y no conformes	Ene – Mar	Jul – Sep	Reducción
1	Aleta Despegada	12	6	50%
2	Faltantes de caja por paquete	7	5	28%
<b>3</b>	<b>Profundidad de ranura</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>-50%</b>
<b>4</b>	<b>Dimensiones distintas a las especificadas</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>-25%</b>
5	Caja descuadrada/paralelismo	3	3	0%
6	Falta de cambio de texto/impresión	5	2	60%

**Fuente:** Tomado de Empresa objeto de estudio.

El aumento de la causal de dimensiones distintas a las especificadas, se presentó por método inadecuado de la toma de medida por parte del Operador de Máquina, para esto, se volvió a dar reinducción y entrenamiento en la toma de medidas y se hizo seguimiento por un período de 15 días.

#### **RESUMEN DEL CUARTO OBJETIVO:**

- Para el período evaluado se observó una reducción de los costos de falla por valor de \$293.399.220, pasando de \$615.567.920 en el primer trimestre a \$322.168.700 en el tercer trimestre; este valor es importante si se tiene en cuenta que para generarlo la empresa tuvo que incurrir en inversiones de prevención y detección de fallas por valor de \$258.600.00, lo cual nos permite observar la existencia de un ahorro neto de \$34.799.220 en un trimestre y la recuperación total de los recursos invertidos en prevención y fallas.
- Después de realizada la prueba piloto, en la cual se dio cumplimiento a cada uno de los pasos, se logró una reducción en el número de fallas internas y externas, sin embargo, hubo algunos controles que tuvieron incremento debido a situaciones imprevistas durante el proceso de producción, las cuales fueron corregidas oportunamente.
- En el análisis de los costos realizado se observó una reducción de éstos, debido a las acciones implementadas en la prueba piloto, en donde la política de operación establecida e implementación de la misma fue la que mayores beneficios brindó al proceso de producción de cartón corrugado en las diferentes líneas.
- La prueba piloto realizada permitió aplicar las acciones propuesta, e inversiones en costos de prevención y detección que conllevaron a la reducción costos de fallas. Para lograr una reducción de costos más significativa es importante que esta metodología sea aplicada por un lapso de tiempo mayor, para realizar ajustes y mejorar los controles establecidos.

- Para el cumplimiento de este objetivo se requirió definir cada uno de los pasos a ejecutar en la prueba piloto, los cuales involucran las metodologías aplicadas en cada uno de los objetivos desarrollados en este trabajo de grado. De igual manera, se requirió realizar análisis de los resultados alcanzados, para ello, se revisaron los resultados alcanzados en la matriz AMEF, los indicadores de calidad y las quejas reportadas por los clientes en el período evaluado. A continuación se detallan las etapas a tener en cuenta:

**Ilustración 32.** Metodología de control para la aplicación de la prueba piloto.

Definir la metodología para la aplicación de la prueba piloto

Analizar cada uno de los resultados alcanzados

Brindar aportes sobre la conveniencia o no de la metodología aplicada

**Fuente:** Los autores.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- Con la elaboración del diagrama de flujo y la aplicación de la herramienta AMEF, se logró identificar los procesos críticos que afectan el proceso de cartón corrugado, esto permitió identificar las causas potenciales y establecer planes de acción con el fin de prevenirlas.
- Con el uso de los costos PEF se logró cuantificar los costos asociados a la calidad de la empresa objeto de estudio, resultados que permitieron construir los indicadores financieros de calidad e identificar cómo las fallas reducen la utilidad, de igual manera, se pudo cuantificar la inversión en costos de prevención y detección que realiza la compañía con el fin de prevenirlas.
- Con la aplicación de la metodología QFD (casa de la calidad), se logró establecer la matriz de relación de primer y segundo nivel, en donde la de primer nivel se cruzan los requisitos de calidad (voz del cliente) con los procesos críticos identificados en la matriz AMEF, así mismo, en la de segundo nivel se cruzan los requisitos de calidad con los parámetros técnicos, la elaboración del QFD permitió identificar los puntos críticos a tratar con mayor prioridad y establecer planes de mejora.
- La prueba piloto aplicada permitió establecer acciones orientadas a la reducción de los costos de fallas (internas y externas) y del número de reclamos y no conformes.
- El aporte más significativo dado por los autores en este trabajo de grado fue la propuesta de integración metodológica para la identificación y cuantificación de los costos PEF a través de AMEF que se plantea en el Objetivo N° 2, debido a que después de revisar el marco teórico no se evidenció la existencia de este tipo de metodologías.

## **Recomendaciones:**

- Implementar la propuesta metodológica para la identificación y cuantificación de los costos PEF para que sea establecida como mecanismo de control del proceso productivo en la empresa de cartón corrugado y se convierta en un instrumento indispensable de gestión.
- Realizar un seguimiento continuo a los resultados derivados de la aplicación de la metodología, tomando en cuenta los factores humanos (asimilación y aplicación efectiva), fallas identificadas, costos de dichas fallas, variaciones en dichas fallas y la existencia de nuevas fallas potenciales.
- Después de desarrollar la metodología establecida para dar cumplimiento a los objetivos de este trabajo de grado, se hace necesario definir para una siguiente fase, los límites de control de proceso, establecer la capacidad del proceso de producción de cartón corrugado e incluir los siguientes niveles de implementación de la herramienta QFD; esto permitirá acercar la gestión productiva de la empresa objetivo a mecanismos numéricos que permitan realizar control estadístico de las diferentes etapas de fabricación.
- Como una siguiente fase de continuidad del proyecto, se puede profundizar en la identificación de los costos por unidad de producción de una caja de cartón corrugado, con el fin de cuantificar la relación del gasto en ventas del producto Vs los costos asociados a la prevención y obtener mayor control en la utilidad que obtiene la Empresa objeto de estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A., & Alonso, E. (2011). *Propuesta metodológica para la reducción de desperdicios en la empresa "US Technologies"* (Doctoral dissertation).
- Auñón H, J. A. (2008). *Propuestas de mejora de la técnica del Despliegue de la Función de Calidad. Aplicaciones al sector del automóvil* (tesis doctoral). Universidad de Málaga. Malaga, España.
- Bajramović, E., Islamović, F., & Gačo, D. (2012). *TQM in the motor vehicle service*. Acta Technica Corvininensis - Bulletin Of Engineering, 5(1), 75 – 79.
- BARJAKTAROVIĆ, L., & JEČMENICA, D. (2014). *Six Sigma Concept*. Acta Technica Corvininensis - Bulletin Of Engineering, 7(3), 103 – 108.
- Berdugo Correa, C., & Luna Amaya, C. (2011). *QFD y logística integral: La voz del cliente es el primer eslabón de la cadena*. Revista Científica Ingeniería Y Desarrollo, 11(11).
- BI, V. T., (2008). *Diseño de una estructura de costos para los pequeños productores de banano en el departamento del Magdalena: aplicación en la Cooperativa Asobanar* (tesis de maestría). Fundación Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.
- Campanella, J. (1992). *Principios de los costes de la calidad*. Madrid, España: Díaz de Santos S.A.
- Cebolla, A. r. C., Gil-Lafuente, A. M., & Lindahl, J. M. M., (2014). *La importancia del control de los costes de la no-calidad en la empresa*. (Nº XREAP2014-03).
- Chen, L., & Ko, W. (2009). *Fuzzy linear programming models for new product design using QFD with FMEA*. Applied Mathematical Modelling, 33(2), 633 – 647. DOI:10.1016/j.apm.2007.11.029.
- Climent Serrano, S. (2005). *Clasificación de los costes de calidad en la gestión de la calidad total*. Partida Doble, (171), 88 – 97.
- Cristian, D., & Costel, S. (2011). *Development on quality management concepts*. Analele Universitatii Maritime Constanta, 12(16), 29 – 31.
- Defeo, Joseph A. (2001). *The tip of the iceberg*. Quality Progress, 29-37.

- Ehigie, B., & Akpan, R. (2006). *Roles of Personality Attributes in the Practice of Total Quality Management*. *Individual Differences Research*, 4(2), 78-105.
- Escobar P., B. y González G., J. M. (2006). *Reingeniería de procesos y calidad total empresarial: estudio de un caso*. Universidad de Sevilla, 3, 227 – 250.
- Evans, J R.; Lindsay, W M. (2008). *Administración y control de la calidad*. México D.F., México: Cengage Learning Editores.
- Felizzola Jiménez, H., & Amaya, C. (2014). *Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico*. (Spanish). *INGENIARE - Revista Chilena De Ingeniería*, 22(2), 263-277.
- Gómez, L. (1983). *Los costos de calidad y su influencia en la gestión económica de la empresa*. *Normalización*, 13 (2), 34-9.
- Gracia Villar, Santos; Dzul López, Luis A. (2007). *Modelo PEF de costes de la calidad como herramienta de gestión en empresas constructoras: una visión actual*. Universidad Politécnica de Cataluña.43 – 56.
- Gryna, Frank M; Chua, Richard C. H.; Defeo, Joseph A. (2007). *Método Juran, Análisis y planeación de la calidad*. México D.F, México: Mc Graw – Hill Companies.
- Guillezeau B., P; Romero, S. (2004). *Sistema de costos de calidad como proceso de mejoramiento continuo*. Instituto de Investigaciones Económicas de la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Venezuela. 17 – 42.
- Gupta, V., Garg, D., & Kumar, R. (2014). *Depiction of Total Quality Management during a Span of 2003-2013*. *Journal Of Engineering & Technology*, 4(2), 81-86. doi:10.4103/0976-8580.141170.
- Gutiérrez P., H.; Gutiérrez G., P.; Garibay López, C. y Díaz C., L. (2014). *Análisis multivariado y QFD como herramientas para escuchar la voz del cliente y mejorar la calidad del servicio*. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(1), 62-73.
- Gutiérrez P., H.; De la Vara S., R.; (2009). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. México, México D.F: Mc Graw Hill.
- Guzmán P., N. J. (1991). *Costos de calidad en la planta Baxter* (tesis de Maestría). Universidad ICESI, Cali, Colombia.
- Jacobs, F. R.; Chase R. B. (2009). *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros*: México, México D.F: Mc Graw Hill.

Jamal, R. (2008). *An Investment Model for Assessing Quality Costs*. Thesis. Faculty of California State University Dominguez Hills. California, USA.

Jha, U., & Kumar, S. (2010). *Critical success factors (CSFs) of TQM: a literature review & analysis*. Training, 50, 19.

Jirarat, T., Ketlada, K., & Nuttapon, S. (2011). *Relationship model and supporting activities of JIT, TQM and TPM*. Songklanakarin Journal of Science & Technology, 33(1), 101-106.

Kamlesh K. R., Shah; Fitzroy, P. (1998). *A review of quality cost surveys*. 24 (6), 479-486.

Karaulova, T. T., Kostina, M. M., & Sahno, J. J. (2012). *Framework of reliability estimation for manufacturing processes*. Mechanika, 18(6), 713-720. DOI: 10.5755/j01.mech.18.6.3168.

Luna Amaya, C., & Mendoza Bayuelo, A. C. (2011). *Metodología para mejorar la ingeniería de Producto /Proceso basada en Ingeniería Concurrente*. Revista Científica Ingeniería y Desarrollo, 16(16), 59 – 69.

Medina F. de S. (2011). *El Despliegue de la Función Calidad como Herramienta Estratégica*. Revista entre ciencia e ingeniería, 0(8), 83 – 95.

Milosan, I. (2014). *Studies about the total quality management concept*. Acta Technica Corvininensis - Bulletin Of Engineering, 7(3), 43-46.

Muro, O., & Alarcon, L. F. (2012). *Metodología para satisfacer necesidades de productos y servicios en la construcción*. Revista Ingeniería de Construcción, (19), 5-14.

Oña A., N.; Cañamero S., Ivis, P.; Díaz de Armas, M.; Domínguez C., H; Álvarez M., M. (1998). *Diseño de una metodología para el cálculo de los costos de calidad*. 32 (2), 113-119.

Pacheco B, H. y Tapia Q, M. *Diseño de un plan de calidad para un centro de distribución de productos de consumo masivo mediante la utilización de la técnica AMEF*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1-8.

Pakocs, R. (2014). *Quality management applied through QFD method*. Proceedings Of The Scientific Conference AFASES, 1319-324.

Peña, E. (2010). *Influencia de los costos de calidad como factor estratégico en los niveles de competitividad de las empresas fabricantes de envases de aluminio*

(período 2009-2010) (tesis de maestría). Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”. Barquisimeto, Venezuela.

Perdomo Burgos, A. (2010). *Administración de los costos y gestión financiera de la calidad: ¿Cómo lograr en las empresas beneficios económicos y financieros reales con los sistemas de gestión de la calidad?* ICONTEC

Ramírez B., F D; Valls F., W (2009). *Determinación de los costos asociados a la calidad en el hotel Sandals Royal Hicacos.*

Revere, L., & Black, a. (2003). *Integrating Six Sigma with total Quality Management: A Case Example for Measuring Medication Errors.* Journal Of Healthcare Management, 48(6), 377-391.

Rodríguez Fonseca, F. (2011). *Plan de mejora en la empresa Sysman Ltda. utilizando la metodología Seis Sigma.* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).

Ruiz Fernández, J., & Zubillaga Zubimendi, J. (2010). *Investigación de efectos olvidados en el despliegue de la función de calidad (QFD).* Dirección y Organización, (27).

Sahagún A., R. (2012). *Evolución de los métodos en el Diseño Industrial.* Taller de servicio 24 horas. Revista electrónica de investigación en diseño. 8 (16), 41 – 54.

Santos B., J. & Ramesh R, L., (2009). *Quality Costs in a Manufacturing Industry: A Gateway for Improvement.* 4 (6), 945-954.

Santoyo A., H. R., (2012). *Análisis para la evaluación de la gestión de calidad en fábricas procesadoras de lácteos.* Revista In Vestigium Ire. Vol. 5, p.p 27 – 36.

Sierra, R., (2010). *Diseño de una estrategia de productividad para el área de operaciones de una industria farmacéutica mexicana* (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.

Smith, S. S., Smith, G. C., & Huang, W. (2013). *The Green Quality Function Deployment Method for Business Management.* Journal of Integrated Design & Process Science, 17(2), 37-58. DOI: 10.3233 / jid-2013-0010.

Stefano, N. M. (2014). *Herramientas para mejoría de la calidad y productividad: ISO 14000, Quality Function Deployment (QFD) y Six Sigma.* Estudios do ISCA, (8).

Villegas M., J. (2011). *Optimización de la Gestión del Costo de Producción en una Compañía Láctea* (tesis de maestría). Universidad ICESI, Colombia.

Vladimir, P., Branko, V., & Milo, P. (2010). *The Possibility for FMEA Method Improvement and Its Implementation into Bus Life Cycle* Strojnicki Vestnik / Journal of Mechanical Engineering, 56(3), 179 – 185.

Vykydal, D. D., Plura, J. J., Halfarová, P. P., Fabík, R. R., & Klaput, P. P. (2013). *Use of quality planning methods in optimizing welding wire quality characteristics*. Metalurgija, 52(4), 529-532.

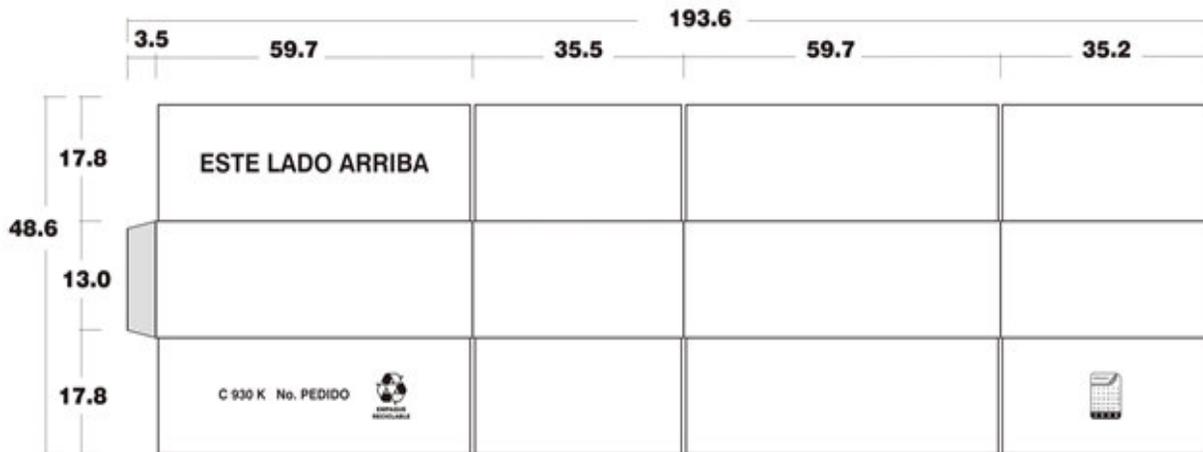
Zatzick, C. D., Moliterno, T. P., & Fang, T. (2012). Strategic (mis) fit: *The implementation of TQM in manufacturing organizations*. Strategic Management Journal, 33(11), 1321-1330. DOI:10.1002/smj.1988.

# ANEXOS

## Anexo A: Ficha Técnica de producto

CARTONERA NACIONAL S.A.		FICHA TECNICA				Código No. 340010	
<b>Cliente</b> C.I. DENIM FACTORY LTDA.		<b>Referencia</b> CAJA MEXICO				<b>Consecutivo comercial</b> 13107 A	
<b>Materia</b> C 930 KRAFT		<b>Medidas internas (centímetros)</b>				<b>Ficha tec. Anterior</b>	
<b>Estilo</b> REGULAR		<b>Nota</b> PEGADA X DENTRO		<b>Largo</b> 59.2	<b>Ancho</b> 35.0	<b>Alto</b> 12.0	<b>Tolerancias</b> ± 0.3 cm
<b>Tamaño de lamina (cm)</b> 48.6 * 193.6		<b>Corrugación (cm)</b> 48.6		<b>Calibre del cartón (mm)</b> Mínimo		<b>Compresión vertical (kg/cm)</b> Mínimo 930	<b>Ajustamiento horizontal (kg/cm²)</b> Mínimo
<b>Area de la caja (m²)</b> 0.941	<b>Peso de la caja (kg)</b> 0.648	<b>Unidades x bulto</b> 20 Unds		<b>Cabros</b>			<b>Fecha</b> 31/08/2010
<b>Desperdicio</b> 0.024 M²	<b>No de lona</b>	<b>No de troquel</b>		<b>1</b> NEGRO ●	<b>2</b> ○	<b>3</b> ○	<b>4</b> ○
							<b>Diseño</b> Jairo Satizábal

OBSERVACIONES:



<b>REPRESENTANTE DE VENTAS</b> Fecha:	<b>CLIENTE</b> Aprobado via mail por: ALFREDO CORDOBA S. alfredocordoba@ci-denim.com Fecha: Recibido en agosto 31 de 2010	<b>NOTA</b> LOS CUADROS REPRESENTADOS EN ESTE ANEXO SON UNOS EJEMPLOS DE REFERENCIA PARA EFECTOS DE APROBACION LA TOMADA COMO BASE LA REALIDAD SUBYACENTE POR EL CLIENTE DE ACUERDO AL PATRON QUE SEAN ANTES DE FIRMAR, VERIFICAR DIMENSIONES, COLORES, TONOS Y BOMBANACION EN CADA PUNTO.
--	--	---

F-P7-04 REV: 00

Listo

## Anexo B: Clasificación de defectos del cartón corrugado

DEFECTOS	ESPECIFICACION	CRITICO 0.65	MAYOR 1.0	MENOR 4.0
Dimensiones internas (largo, ancho, alto)	Especificación +/- 3 mm	X		
Contaminación Química o Biológica	Presencia de animales o sustancias	X		
Textos de la impresión diferentes al arte	De acuerdo a tarjeta de especificación	X		
Aleta del fabricante despegada	Desprendimiento de fibra mayor al 60% del área de la aleta	X		
Color de tinta diferente al especificado	De acuerdo a la especificación.	X		
Ilegibilidad de código de barras	90% de decodificación del código de barras.	X		
Escotes longitudinales mal definidos, débiles o rotos	Que impida el armado		X	
Liner despegado	Mayor a 15 mm del borde		X	
Fractura del Liner externo	Que se alcance a divisar el corrugado medio		X	
Separación entre aletas	0 – 4 mm			X
Profundidad de las ranuras	+/- 4mm			X
Desperdicio sin remover	Adherido a la caja			X
Unidades por paquetes	Se certifica una variación máxima de $\pm 0.3\%$ vs. la cantidad de cajas planilladas y facturadas.			X
Aleta del fabricante menor a la especificada	Pared sencilla 3.0 cm Doble pared 4.0 cm			X
Abertura del fabricante	Pared sencilla 0-10 mm Doble pared 0-13 mm			X
Paralelismo del cierre del fabricante	G1-G2 $\leq 6$ mm			X
Brotos de goma	Cajas pegadas			X
Variación del tono de la tinta	Según estándares máx. normal y mínimo.			X
Borrones o manchones	Hasta 0.5 cm <sup>2</sup>			X
Fractura interna de escotes	Mayor a la mitad del escor			X
Cartón lavado	Que afecte la legibilidad de la impresión			X
Case o registro de la impresión	+/- 3 mm			X
Embotamiento (textos ilegibles)	No lectura de textos. Se garantiza lectura con letras mayores a 12 ptos.			X

## Anexo C: Reporte de Visita

### INFORME DE VISITA CLIENTES BOGOTÁ

Fecha	Cliente	Objetivo visita	Comentarios	Conclusiones y/o recomendaciones	FOTOS	Ejecutivo de Negocio
09/10/2014	OCATI	Revisar especificaciones de calidad, de las bandejas que vamos a iniciar a producir, con el fin de tomar acciones que prevengan defectos de calidad en las primeras y siguientes entregas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se revisó las especificaciones de los materiales con la señora Fanny Arevalo de compras, y me enseñó cajas del proveedor Packing donde se evidenciaban algunos defectos que no deben llegar en nuestras cajas.</li> <li>2. Las caja serán utilizadas en las siguientes condiciones: Cada caja pesa 2.5kg, se realizan arrumes de 15 niveles, deben permanecer 20 días en un barco dentro de un contenedor a temperaturas de 0°C-8°C.</li> <li>3. Se encuentran en desarrollo aproximadamente 4 referencias.</li> <li>4. Este cliente solicito 6500 unidades de la caja aguacate en Kraft, sin impresión para ensayo, estamos pendientes del resultado.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar que el zuncho dañe las cajas de los extremos, de llegar a suceder, se hará el respectivo reporte de las cajas defectuosas para generar nota contable</li> <li>- Impresión sin embotamiento, buen registro de impresión (entrega muestras del otro proveedor)</li> <li>- Las cajas deben llevar recubrimiento</li> <li>- Adecuada definición de los escores, puesto que el armado de estas cajas son en una máquina automática, donde este defecto presenta dificultades en el armado de la caja. (Entrega muestras del defecto presentado en la caja del otro proveedor)</li> <li>- El horario de recibo es de 7:30-2:30 pm de Lunes a sábado, tener en cuenta que el descargue se debe realizar en un 2do piso.</li> </ul>		Carlos Rozo
09/10/2014	Colanta	Revisar reporte de Aleta despegada	Se presenta el defecto en la referencia 015910 BF ENTERA 1100 X 2P X6, el número de cajas no es muy alto, pero les genera reempaque del producto cuando la estiba ya esta armada	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se evidencia que si hay pegue de la aleta por el desprendimiento de fibra que se observa, sin embargo se debe aumentar la aplicación de adhesivo que abarque todo el ancho, debido a que esta caja es muy exigente por el peso del producto. (Esto ya se realizó)</li> <li>2. Se hace la invitación a la Jefe de Calidad, Luz Marina para que vea los cambios que se han hecho en planta. (Posiblemente vendrá antes de terminar el año)</li> </ol>		Gloria Valencia
10/10/2014	Progen	Revisar especificaciones de calidad, para la producción de la caja Caja Stihl RS-870-18	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicialmente se realizó un pedido por 390 cajas en clave 1130, los tonos de esta caja fueron aprobados por el cliente (Ingeniero de Empaques), el cual estuvo en el proceso de fabricación, sin embargo cuando estas recibidas por calidad hubo un rechazo 299 por impresión, embotamiento en el color negro. Lote 139778</li> <li>2. Con la visita, se logró identificar los requerimientos de calidad para la fabricación de esta caja, la cual paso de clave 1130B a 930B. Se realizaron las comparaciones con la caja de al competencia logrando identificar las diferencias.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se hizo una segunda prueba por 525 unidades, teniendo en cuenta las recomendaciones del cliente, esta caja ya fue aprobada, la cual nos abrió participación en otras referencias.</li> <li>2. Se identifica oportunidad de mejora en el diseño del clisé, realizar las líneas mas delgadas para evitar el embotamiento.</li> <li>3. Asistir a la utilización de las cajas</li> <li>4. Se autorizó la nota contable por las 299 unidades rechazadas.</li> </ol>	<p>Cartonera</p>  <p>Empaques</p> 	Eduardo Bonilla
10/10/2014	Conservas el Casino	Revisar los requerimientos del cliente	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se han presentado eventos de aleta despegada en una baja proporción, para utilizarlas han procedido a pegarlas. Sin embargo les informé que era mejor hacer el reporte para que cartonera pueda medir el nivel de calidad de esta variable.</li> <li>2. Evento de incumplimiento, donde se cuestionó la capacidad de reacción de la compañía en este tipo de situaciones, sin embargo se les dio la tranquilidad, con las inversiones que vienen haciendo la compañía ( compra máquina, ampliación de bodega) y el compromiso desde la Gerencia General, con la satisfacción de nuestros clientes.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El cliente solicita una capacitación para sus transportadores la cual debe contener forma de estibado, manejo de empaque y los posibles defectos que se pueden encontrar y para los vendedores una capacitación que hable de las ventajas de trabajar con los empaques de Cartonera Nacional.</li> <li>2. El cliente hará una programación de fabricación de cajas para 3 meses, con el fin de que Cartonera pueda cumplir con sus requerimientos.</li> </ol>		Eduardo Bonilla