



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS – TRANSPORTE

CASO DE APLICACIÓN DE UN PROCESO DE MEJORA CONTINUA PARA  
DISMINUIR EL DAÑO EN LA CARGA AÉREA

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO  
DE: MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
EMMANUEL GONZÁLEZ TRUEBA

TUTOR PRINCIPAL  
DRA. MAYRA ELIZONDO CORTÉS  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

Ciudad Universitaria, CD. MX.

Septiembre 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO 1: RETOS DEL TRANSPORTE AÉREO EN MÉXICO. ....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. ANTECEDENTES DE CARGA AÉREA.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2. CARGA AÉREA.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3. LOS PROCESOS DE CARGA .....</b>	<b>19</b>
<b>1.4. AEROMÉXICO CARGO .....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO 2: TÉCNICAS DE MEJORA CONTINUA .....</b>	<b>25</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	25
<b>2.2 MODELOS DE MEJORA CONTINUA.....</b>	<b>25</b>
2.3 METODOLOGÍA DE SIX SIGMA.....	34
2.3.1 FASE DEFINIR .....	38
2.3.2 FASE MEDIR .....	41
2.3.3 FASE ANALIZAR.....	50
2.3.4 FASE MEJORAR .....	52
2.3.5 FASE CONTROLAR.....	54
2.4 PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SIX SIGMA .....	57
<b>CAPÍTULO 3: APLICACIÓN DE SIX SIGMA PARA DISMINUIR EL DAÑO EN LA CARGA AÉREA..</b>	<b>62</b>
3.1 DEFINIR: PROBLEMA PRÁCTICO DE NEGOCIO.....	62
3.2 MEDIR: PROBLEMA EN TÉRMINOS ESTADÍSTICOS .....	69
3.3 ANALIZAR: SOLUCIÓN IDENTIFICADA ESTADÍSTICAMENTE.....	77
3.4. MEJORAR: SOLUCIÓN PRÁCTICA VINCULADA A LA SOLUCIÓN ESTADÍSTICA.....	81
3.5 CONTROLAR: SOLUCIÓN EMPRESARIAL PRÁCTICA ADMINISTRADA "ESTADÍSTICAMENTE" .....	86
<b>CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>99</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>105</b>

## ABSTRACT

This research examines cargo damage problems experienced by carriers companies. The objective is to implement a Continuous Improvement Methodology as Six Sigma, in order to reduce damage in customer's products transported by the airlines; preventing customer dissatisfaction, claims incurring on reimburse payments and implement work methods to avoid complaints in cargo operations.

Six-sigma - a highly disciplined and statistically based approach for removing defects from products, processes and transactions, involving all employees in the corporations - has been adopted as a major initiative by many companies. This document will propose the benefits of Six Sigma bring to stakeholders, employees and customers and how to apply it.

Carriers are part of the Supply Chain and giving the service of transportation to deliver products is subject to have complaints, lose cargo or even worse damages in cargo. In order to reduce this type of defect will be explained Six Sigma methodology and how could be part of air cargo solution. The model provides a quantitative method to collect measures to understand defect causes based on customer oriented mindset and customer experience. A series of statistical tools demonstrate the effectiveness of the robust model to reduce variation avoiding waste and improving the process of air cargo.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, ha existido un constante enfoque de las empresas hacia procesos que logren eficiencia y efectividad en sus operaciones. El siguiente trabajo de investigación tiene como objetivo explicar los conceptos básicos de la cadena de suministro así como la operación de la carga aérea para así demostrar la aplicación práctica de un proceso de mejora. Actualmente, las **áreas de oportunidad** que tiene el **transporte aéreo en México** son un reflejo del panorama actual del país y del desarrollo de este tipo de transporte en la logística y cadena de suministro así como del papel que ocupa como extensión de negocio en las industrias de producción; así mismo, constituye un reflejo de la infraestructura con que cuenta el país.

Como es de su conocimiento, los aeropuertos operan con diferentes líneas aéreas que ofrecen servicios de transportación de carga al destino solicitado por los clientes dentro y fuera del país. La serie de actividades que la aerolínea lleva a cabo para conseguir el movimiento de la carga constituye un proceso, que para efectos de esta investigación será llamado proceso para conseguir el movimiento de la carga y para el cual es necesario definir y medir el nivel de relación existente entre éste y los actores que participan en él como mano de obra, maquinaria, equipo e insumos. El objetivo de este caso de investigación es encontrar la relación existente entre las rutas de origen-destino en los vuelos de carga donde se presentan errores o daños, con el tipo de aeronave donde se transporta la mercancía y los métodos de trabajo con el que se opera el proceso de carga aérea. Los elementos antes mencionados son los que integran el proceso de transportación de carga aérea y con esta investigación se busca identificar los elementos de satisfacción del cliente, así como proponer mejoras al proceso actual a través de la mitigación de errores en el envío de ésta. Para el análisis relacionado con esta investigación se usaron herramientas de **Metodologías de Mejora Continua** como un argumento de las diferentes técnicas que se han utilizado en el mundo para mejorar procesos en la cadena de suministro, manejo de carga y otros procesos relacionados. Parte de este análisis explica el uso de la metodología de

*Six Sigma* con el objetivo de reducir la variación en los procesos, evitar defectos en el servicio y asegurar el control de desviaciones que se reflejan como desperdicios y entregas tardías; todo esto con el único objetivo de mejorar la satisfacción del cliente. Se define un defecto como cualquier caso o evento en que el producto o proceso fracasan en la satisfacción del cliente. Los niveles Sigma de rendimiento se suelen expresar en Defectos por Millón de Oportunidades o DPMO que indican el número de errores que se producirían si se repitiera una actividad un millón de veces, y el programa de Six Sigma busca precisamente, reducir esta variación en los procesos que llevan a dichos defectos.

La metodología de Six Sigma involucra muchas de las herramientas de estadística utilizadas en metodologías de mejora de calidad y son enfocadas hacia el ciclo de definir, medir, analizar, mejorar y controlar, *DMAIC*, por sus siglas en inglés; con el objetivo de mejorar el desempeño de las organizaciones. La explicación de las herramientas estadísticas se limita a exponer la utilidad más que las bases matemáticas en que se fundan. Si el lector requiere profundizar en alguna herramienta, se recomienda verificar las referencias al final de este trabajo de investigación.

Se hace énfasis en identificar las necesidades de los clientes y después las del negocio. De esa forma, el margen en las ganancias se incrementa y los costos disminuyen para mejorar los resultados y lograr procesos más eficientes y efectivos. Por lo tanto, se explica únicamente una metodología de mejora que ha facilitado a diferentes empresas el identificar las causas generadas en sus procesos productivos y de servicios y que al eliminarlas, se logran ahorros sostenibles en la operación y formas de trabajo para evitar caer nuevamente en errores que afecten los procesos en la cadena de suministro conocida como Excelencia en el negocio (*Business Excellence*) o Administración Integral del Negocio (*Integrated Business Management*).

Por último, **la Aplicación de Six Sigma en la operación de carga aérea**, que muestra la utilización de herramientas, los cálculos realizados y las conclusiones del trabajo de investigación con los resultados obtenidos.

El caso real se genera en la operación de carga aérea en una aerolínea de México al momento de transportar diferentes productos a nivel nacional manipulados por el personal de la compañía en el manejo de carga.

El objetivo de este trabajo de investigación para este estudio es lograr un impacto financiero con base en un proyecto de mejora con el soporte de la metodología de Six Sigma utilizando herramientas estadísticas para identificar los puntos críticos buscando corregir el manejo y manipulación de los productos evitando el daño durante la transportación de la carga aérea para eliminar cualquier defecto reflejado en el servicio logrando satisfacer las necesidades de los clientes.

Con la aplicación de esta metodología de Six Sigma se encontraron las causas raíces generadas en la operación para encontrar puntualmente que los defectos o daños suceden en un tipo de avión afectando el tiempo de entrega de la carga.

## CAPÍTULO 1: Retos del transporte aéreo en México.

### 1.1. ANTECEDENTES DE CARGA AÉREA

De acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) en el Plan de Desarrollo 2013-2018 en Infraestructura de Transporte (2013), los beneficios que tendrán los contribuyentes para que una nación progrese se basan en desarrollar infraestructura para estar comunicado y que el país sea competitivo para las personas que lo habitan facilitando los accesos a las vías de comunicación con el objetivo de comercializar de manera eficiente los bienes y servicios, que transiten de manera segura y a un menor costo. Basándonos en este argumento, se logrará tener un país con desarrollo económico, sustentable y con calidad de vida, logrando impactar en el crecimiento del producto interno bruto (PIB) y en la generación de empleos que le hacen falta al país (Infraestructura de Transporte, 2013).

El compromiso de la SCT es consolidar una plataforma logística global de alto valor agregado en los servicios de carga, dando impulso a la modernización de los aeropuertos atrayendo inversiones productivas para que las regiones cuenten con herramientas necesarias para alcanzar una mayor competitividad manteniendo un estado de bienestar entre los habitantes de estas regiones.

La importancia de la infraestructura de Transporte en México se resume en los siguientes puntos (Infraestructura de Transporte, 2013):

- es un factor determinante para el desarrollo económico;
- brinda comunicación permanente entre los centros de población con los polos regionales de desarrollo, centros de producción y consumo;
- es un factor para elevar la competitividad: reduce costos y tiempos de transporte, facilita el acceso a mercados e integra cadenas productivas;
- contribuye a fortalecer la paz social y la seguridad;
- el bienestar de las naciones está relacionado con el grado de desarrollo de su infraestructura;

- facilita el acceso a servicios de educación, salud, entre otros;
- contribuye a eliminar desequilibrios regionales;
- le da un sentido de unidad a todo el país.

Los puntos anteriores dan dirección a la formación de una infraestructura estratégica y a una destacada plataforma logística que fomente mayor competitividad, desarrollo económico, generación de empleos y mejor calidad de vida para los mexicanos.

## 1.2. CARGA AÉREA

En particular, la infraestructura aérea ha sido parte de este trabajo de investigación, enfocándose al transporte de carga que comienza a desarrollarse de manera importante en México.

En la Figura 1.1 se muestra el comportamiento de la carga para cada uno de los modos de transporte.

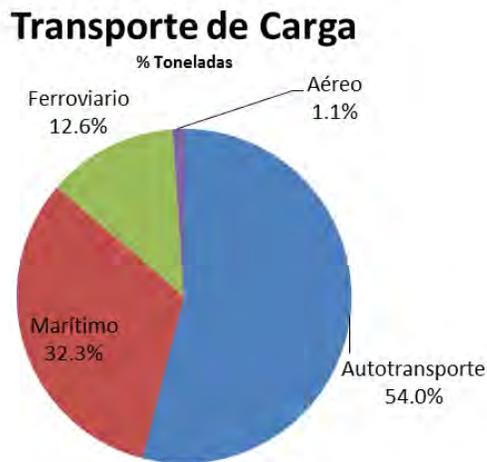


Figura 1.1 Transporte de Carga por modo de transporte.  
Fuente: Generada con Información de Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018 (2014).

Debido a que el porcentaje es pequeño existe una oportunidad para penetrar con este tipo de modo de transporte y desarrollar el uso de logística aérea ampliando las opciones de la cadena de suministro de las empresas usándolo como modo de transporte para disminuir los tiempos de entrega y mejorar la eficiencia de los sectores productivos satisfaciendo las necesidades de las diferentes regiones del país.

De acuerdo con el informe de la SCT (Infraestructura de Transporte, 2013), el nuevo aeropuerto de la Ciudad de México será una ventana de oportunidad para el desarrollo regional de los próximos cincuenta años, diseñado con la visión de convertirse en un *HUB* en el continente, es decir, un centro de conexión, movilidad y transferencia de personas, mercancías y actividades comerciales, puesto que será un punto de llegada, partida y movilidad para elevar la competitividad. Es importante mencionar que en este trabajo de investigación, no contemplaremos el transporte aéreo de pasajeros.

Aproximadamente el 2% de toda la carga que se mueve en el mundo se hace por vía aérea. En nuestro país, es de 1.1% comparado con toda la carga que se mueve en otros modos de transporte, sin embargo, el valor de los bienes transportados por aeronave, medido en dólares, puede llegar a representar un tercio o más del total de las mercancías transportadas (Ruiz Olmedo, 2012).

A pesar de que el porcentaje de carga de mercancías es bajo, mover toneladas en un avión representa un margen de ganancias importante para todos que se involucran en este proceso. El valor agregado que ofrece la carga aérea es el tiempo de tránsito, la disponibilidad inmediata de un punto a otro y la seguridad con la que se mueve la carga. La importancia estratégica de transportar insumos y productos terminados se refleja en algunos casos por el valor del negocio y el alto costo en el servicio de carga aérea. Además, como podemos ver en la Figura 1.2, existe un crecimiento anual de transportación de carga y se estima que durante los próximos 20 años, este crecimiento tenga un ritmo del 6% promedio anual (Reporte de Aviación Mexicana en Cifras 1974-2015, 2015).

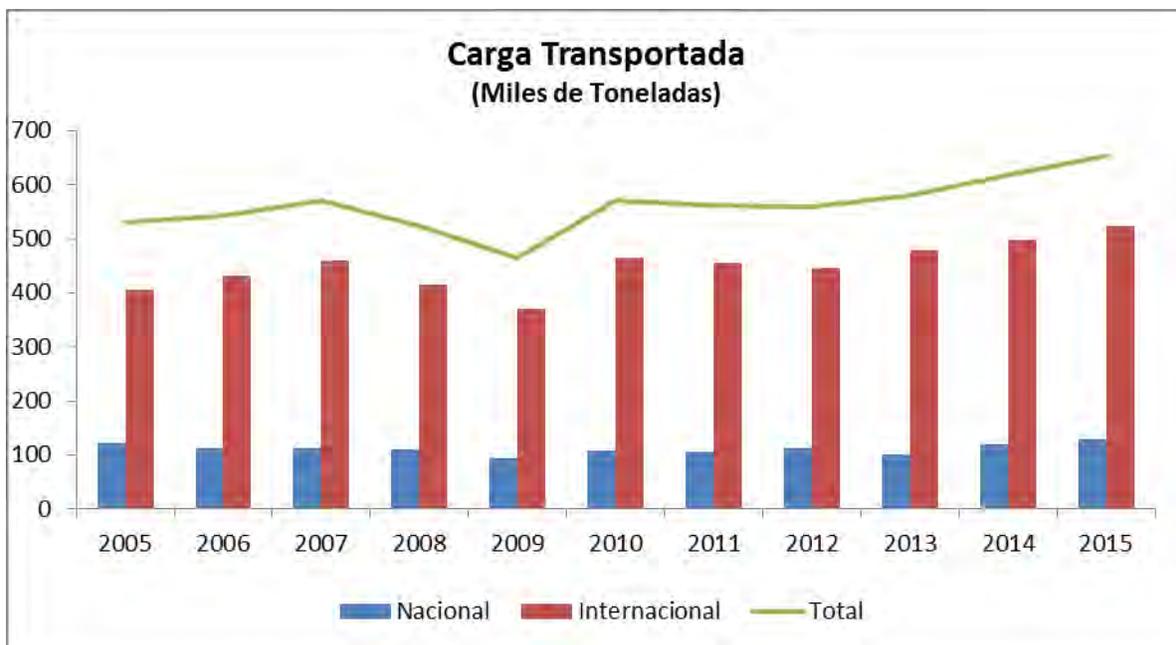


Figura 1.2 Carga Doméstica e Internacional  
Fuente: SCT. Dirección General de Aeronáutica Civil, (2015)

Por lo tanto, y con las nuevas negociaciones que se han firmado en los últimos años como el Acuerdo de Asociación Transpacífico (TPP por sus siglas en inglés, *Trans-Pacific Partnership*) y el Convenio Bilateral sobre Transportes Aéreos entre México y Estados Unidos como parte del procesos de globalización de la economía, la carga aérea representará una prioridad en la estrategia de desarrollo del transporte en México. El Acuerdo se espera incrementará el número de alternativas para los usuarios del servicio internacional, ampliará los espacios de las aerolíneas mexicanas en otros mercados y potenciará el desarrollo de los servicios aéreos de carga. Con ello, las aerolíneas de los dos países podrán operar en cualquier ciudad entre un país y otro, y se fortalecerá el transporte de mercancías entre México y Estados Unidos, por lo que será importante analizar la infraestructura de los aeropuertos, las instalaciones para el despacho y arribo de carga, los procesos para el manejo de carga para lograr una logística altamente competitiva e identificar las limitaciones del país para enfrentarlas y mitigarlas (Resumen Ejecutivo del Acuerdo de Asociación Transpacífico-Secretaría de Economía, 2015).

En los últimos años hemos experimentado un incremento de la inseguridad generalizada en nuestro país. Esta situación puede influir en el crecimiento del transporte aéreo por la demanda generada para no transportar por tierra los insumos y productos, y por lo tanto, se puede esperar que el transporte aéreo sea un medio alternativo que en los próximos años se tendrán que modernizar en aeropuertos, almacenes y puntos intermodales con tecnología de punta como *GPS (Global Position System)*, lectores *QR (Quick Response)*, que permiten la identificación de carga de manera inmediata (parecido al código de barras con mejor tiempo de respuesta), con bandas transportadoras con capacidades para mover toneladas de carga de un almacén a la aeronave para agilizar el arribo y despacho de carga con instalaciones eficientes y sustentables construidas con materiales resistentes y duraderos.

Considerando que los índices de siniestralidad son bajos como el robo en el transporte de carga aérea, es esta una oportunidad para que los inversionistas analicen los beneficios de utilizar este modo de transporte y generen proyectos con el objetivo de lograr un desarrollo económico en las diferentes regiones del país. Por otra parte, la naturaleza de las mercancías susceptibles de ser transportadas por vía aérea y las exigencias de ciertos sectores del mercado, hacen que la velocidad y flexibilidad que caracteriza a este medio sean ampliamente valoradas.

Por otro lado, no se pueden negar ciertos factores inherentes a este medio de transporte, que lo hacen hasta cierto punto restrictivo, principalmente:

- alto costo respecto a otros modos de transporte;
- inestabilidad del precio del petróleo e incrementos en el precio de la turbosina y su consecuente repercusión en las tarifas aéreas;
- la constante fluctuación de divisas que hemos experimentado en los últimos años y que han afectado la aparente estabilidad del peso mexicano;
- desequilibrio en los movimientos de carga aérea (nacional e internacional);
- aplicación de restricciones a la carga aérea en función del país de destino;
- restricciones operativas inherentes a los aeropuertos a utilizar;
- limitación de peso y volumen de las mercancías;

- restricciones derivadas de la capacidad de carga total del avión y de las dimensiones de las puertas de las bodegas en donde se almacena la carga.

De acuerdo con la Figura 1.2, de Información de Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018 (2014), la transportación de carga por vía aérea ha crecido sostenidamente, sin embargo se debe generar mayor infraestructura para que los corredores industriales y puertos marítimos estén mejor conectados con la carga aérea.

Para lograr una infraestructura aeroportuaria y que exista competitividad en la ruta (origen-destino), el Reporte de Aviación Mexicana en Cifras 1974-2015 (2015) indica que se deben considerar los siguientes aspectos:

- operación de 24 horas los 7 días de la semana (dependerá del volumen de carga);
- disponer de posiciones especialmente diseñadas para la operación de cargueros o aviones de pasajeros con espacio para carga, incluyendo el equipo de apoyo en tierra;
- contar con instalaciones especialmente diseñadas para servicios de aduanas, almacenes y despacho ubicados en la misma zona del aeropuerto donde se encuentran las aeronaves;
- contar con vialidades y accesos que faciliten el desplazamiento de la carga de las posiciones de los aviones hacia el almacén de carga y viceversa;
- estar ubicado preferentemente cerca de puertos, terminales ferroviarias, y terminales multimodales, contando con autopistas y carreteras que logren el desplazamiento continuo para disminuir los tiempos de espera;
- contar con una terminal de almacenaje temporal.

En México, no todos los aeropuertos cuentan con estas características, aunque se pueden tomar medidas operativas para hacer viable la operación de carga aérea capacitando a los empleados en el manejo de mercancía especial como son materiales

peligrosos (tóxicos, infecciosos, inflamables, radioactivos, entre otros), de alto valor, perecederos, restos humanos, animales vivos y carga sobredimensionada, que es producto que se transporta frecuentemente en todo el país.

La carga especial es aquella carga que debido a su naturaleza, peso, dimensiones, y/o valor, requiere de un manejo especial. Esta carga es regida por algunas regulaciones que deben ser respetadas. Es necesario un conocimiento profundo sobre su aceptación, almacenaje, carga, descarga y transportación. La negligencia o la falta de apego a la legislación de Aviación Civil pueden tener un serio impacto sobre la propiedad del transportador, así como en la seguridad de la aviación, y la salud de empleados y pasajeros en caso de transportar la mercancía en aviones comerciales.

Las mercancías peligrosas son artículos o sustancias capaces de poner en riesgo la salud, la seguridad, la propiedad y medio ambiente, esta información aparece en la Regulación de Mercancías Peligrosas de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (*IATA*).

Para los animales vivos, también existe una Reglamentación que contiene las revisiones que han sido adoptadas por el Consejo de Animales Vivos y Perecederos de la IATA, en consulta con las partes de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (*CITES*), la Oficina Internacional de Epizootias (OIE) y autoridades gubernamentales que implementan la reglamentación para el transporte de animales vivos, y así lograr que siempre viajen en forma segura, saludable y en condiciones adecuadas y no exista tráfico de animales amenazadas o en peligro de extinción.

Por ejemplo, se requiere cierto equipamiento que no se encuentra en todos los aeropuertos nacionales, tal como equipos especializado para la carga y descarga de mercancías especiales y lugares de almacenaje separados para animales vivos, acompañados de servicios de cuidados especiales para los mismos, por lo que hace complejo su movimiento.

Por otro lado, para almacenar mercancía valiosa de forma segura en la terminal de carga, se necesita de un área supervisada preferentemente con circuito cerrado (video-vigilancia) con registro de entradas y salidas. De igual forma, para trasladar restos humanos en féretros, se necesita contar con equipo especializado pues éstos en general son muy pesados (Dirección de Aviación Civil, 2015).

La infraestructura con la que cuenta el país (Infraestructura de Transporte, 2013) para el transporte de carga aérea es de 78 aeropuertos, de los cuales, 17 atienden un 86% de pasajeros y son los orígenes y destinos por donde se mueve la mayoría de la carga como parte de la cadena de suministro de los procesos productivos. El resto de los aeropuertos representan volúmenes de pasajeros y de carga muy bajos sin embargo, existe una gran oportunidad para desarrollarlos e incrementar el uso de equipos especialmente para carga, con el objetivo de que las operaciones sean más eficientes.

Los aeropuertos que reciben más del 80% de la carga en México y cuentan con una infraestructura para atender aviones que transportan volúmenes altos en aviones de cabina angosta y cabina ancha son los de la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Cancún, Mérida y Tijuana.



Figura 1.3 Ubicación principales aeropuertos de México  
Fuente: Infraestructura de Transporte (2013).

Si bien es cierto que la terminal aérea más importante de México y América Latina en cuanto a volumen de carga transportada es el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, en el reporte Global de Competitividad 2015-2016 (Foro Económico Mundial, 2016), México aparece en el lugar 55 del *ranking* de 140 países en calidad de infraestructura aeroportuaria (es decir, se mide como subdesarrollada o extensa y eficiente con un índice de conectividad aéreo como la red de nodos origen-destino). El primero es Singapur con una puntuación de 6.8 de 7 y los mercados son muy diferentes en volumen de personas o población, es decir, México cuenta con 20 veces más la población que Singapur. A pesar de ello, el movimiento de carga que se genera en Singapur es mucho mayor que en México y las condiciones de infraestructura son con tecnología de punta como *QR Code*, bandas transportadoras exclusivas para carga, zonas exclusivas de carga con procesos eficientes en el manejo de los productos, contenedores con temperatura controlada, entre otros. Hay una brecha grande en nuestro país que hay que cerrar para que las operaciones sean eficientes.

Ballou (2005), sugiere que para impulsar el servicio de carga aérea se tiene que definir una estrategia integral que involucre al gobierno y a los administradores de los aeropuertos para incluir instalaciones y facilidades aduaneras que incentiven la carga aérea de manera dinámica, es decir, por tramos y a través de destinos como puntos de almacenamiento (*hubs*) para representar formas de servicio de transporte, rutas diferentes y productos distintos. Los destinos representan puntos donde el flujo de inventario se detiene en forma temporal (almacenes) antes de desplazarse al destino final donde se encuentra el cliente.

Desde luego que en México existen servicios logísticos integrales como las empresas de *Freight Forwarding* que integran las operaciones aeroportuarias con la marítima, ferroviaria y terrestre, logrando que estos movimientos intermodales permitan la entrega de la carga, sin embargo, el movimiento de la mercancía debe ser más ágil, sin tiempos muertos o esperas, seguro y eliminando la burocracia.

Es de gran importancia el desarrollo en las operaciones de transporte de carga aérea en México y en las aerolíneas que cuentan con ese servicio, dado que con base en él se

pueden identificar oportunidades y áreas prioritarias para impulsar y apoyar este sector en nuestro país.

De acuerdo con Smith (1957) el atractivo del transporte aéreo es la rapidez origen-destino con la que se puede mover la mercancía, en especial a través de largas distancias. A pesar de que el tiempo de tránsito (despegue-arribo) es óptimo, los clientes deben considerar que hay un tiempo de espera por maniobras de arrastre e inspección en cada aeropuerto, así como tiempos de recolección y entrega de carga en los almacenes y almacenes fiscalizados.

El movimiento de carga aérea es una consecuencia directa de las actividades de manufactura y de los flujos que se dan en el comercio nacional. La carga aérea está cada vez más separada de las operaciones de pasajeros y existe más énfasis sobre los aviones de carga en la medida en que hay más demanda para una entrega más rápida y oportuna de bienes. Sin embargo, Herrera (2005) menciona que pocas ciudades en el país tienen una base industrial que soporte exclusivamente operaciones de carga, de cualquier escala.

En los últimos años, la carga doméstica ha fluctuado alrededor de las 100 mil toneladas, que es una cuarta parte de lo que transporta la carga internacional. Al menos Aeroméxico, la aerolínea más importante del país, capta cerca del 40% en la carga nacional y la tasa de crecimiento ha sido positiva. En general, la carga transportada por las aerolíneas nacionales se ha duplicado. En Reporte de Aviación Mexicana en Cifras 1974-2015 (2015), se menciona que en los últimos años, las aerolíneas nacionales han transportado gran parte de su carga en vuelos regulares, más del 82%, el resto fue en vuelos exclusivamente de aviones cargueros.

En términos de compañías dedicadas exclusivamente a carga, Aerotransportes Mas de Carga, tiene una participación del 39.4% y un 19.7% del total de la carga transportada por aerolíneas mexicanas a quienes les da servicio. Las otras dos aerolíneas por orden de importancia, son AeroUnión y Estafeta Carga Aérea, y sumando su participación con la de la compañía Mas de Carga, transportan el 90% de la carga (exclusivamente

de empresas de carga), y el 45% del total transportado por compañías nacionales a quienes les dan servicio de carga.

En cuanto al movimiento de carga aérea nacional, ésta se concentra en 224 arcos, mismos que parten de 41 aeropuertos origen, con 60 aeropuertos destino. Sin embargo, los primeros diez pares origen-destino concentran más del 55% de la carga movida de los arcos. El AICM es el origen en seis de los diez pares principales, y el destino en dos, de acuerdo con el reporte de Herrera (2005).

Los principales productos movidos por el transporte aéreo de comercio exterior son maquinaria, material eléctrico y productos farmacéuticos; todos ellos productos de alta densidad económica (relación del producto con la actividad económica de una región). Existen regiones en el país como Guadalajara que tiene industrias de Alta Tecnología en Telecomunicaciones, otros lugares como el Bajío tienen una alta concentración de productos automotrices que se transportan a la Ciudad de México y en Monterrey existen grandes empresas de consumo. En cuanto al tipo de carga, las aerolíneas nacionales como *Aeromexico Cargo*, transportan en promedio 90% de carga general (carga seca como productos de consumo, automotrices, alta tecnología incluyendo productos farmacéuticos); 7% de perecederos (incluye productos farmacéuticos); 2.5% es carga peligrosa; y un 0.5% es carga valiosa. En cambio, las aerolíneas extranjeras mueven aproximadamente un 31% de carga general (incluye productos farmacéuticos); 57% de perecederos (incluye productos farmacéuticos); 5% de carga peligrosa; y 7% de carga valiosa.

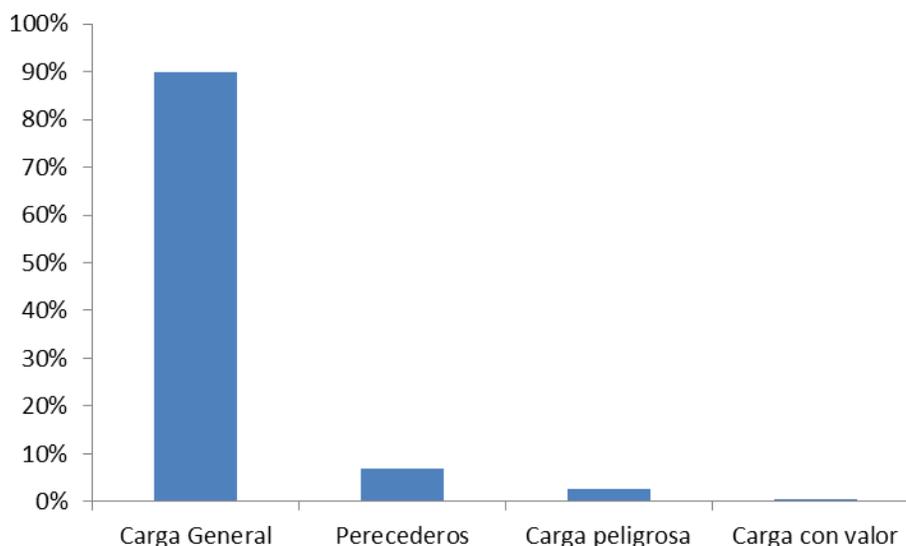


Figura 1.4 Principales tipos de carga enviada por transporte aéreo  
Fuente: Aeromxico Cargo (2016)

La capacidad utilizada para transportar carga en las aerolíneas nacionales (vuelos mixtos) es del 47%; en las aerolíneas extranjeras la capacidad instalada para transportar carga es de 75%. Existe gran oportunidad de incrementar la capacidad utilizada a nivel nacional y de acuerdo con la figura 1.2 este incremento se ha dado año con año alrededor de un 6% de crecimiento. La tasa de crecimiento media anual esperada por las administraciones aeroportuarias, en el movimiento de carga aérea en los principales aeropuertos es del orden del 6% para horizontes de 15 a 20 años, por lo que se espera este crecimiento real en el mediano plazo.

Con ello, se han descrito cuáles son los diferentes modos de transporte, los diferentes usos y productos con los que cuenta el transporte aéreo, se ha definido el concepto de carga aérea en el mundo y en nuestro país. Se ha documentado el desempeño de las principales aerolíneas del país como Aero Unión, Mas de Carga, Estafeta y las mixtas (pasajeros y carga) como Aeroméxico Cargo y continuar con el proceso de carga.

Por lo tanto, en la siguiente sección se señala que la empresa para el Caso de Estudio es Aeroméxico Cargo que es la empresa líder en México para la transportación de carga por medio de su principal activo que son las aeronaves dentro de los

compartimientos de estos equipos para transportar la carga de diferentes clientes a nivel nacional e internacional.

### **1.3. LOS PROCESOS DE CARGA**

Para los propósitos de esta tesis se definió que un proceso de carga aérea es una serie de actividades dentro de la operación de carga a un primer nivel y describiendo en cada fase del proceso, las sub-actividades que realizan los operadores en el almacén del *carrier* o aerolínea para la transportación de los embarques como parte de la cadena de suministro (Figura 1.5).

### **1.4. AEROMÉXICO CARGO**

Aeroméxico Cargo es filial de Grupo Aeroméxico dedicada al transporte aéreo de carga, ofreciendo una extensa gama de frecuencias y capacidades para la satisfacción de las necesidades de clientes y la cadena de suministro a diferentes partes de México y el mundo ofreciendo condiciones de manejo y entrega para todo tipo de carga (Aeromexico Cargo, 2016).

La capacidad de peso o de volumen está condicionada al tipo de aeronave en la que se requiere mover la carga. Por lo tanto, la operación se vuelve compleja cuando anualmente se opera con 30mil toneladas en una empresa como Aeroméxico Cargo y existen riesgos que deben mitigarse para evitar errores en la operación con la ayuda de procedimientos, controles, capacitaciones y equipo para operar esta cantidad de carga.

A pesar de ello, países como Singapur manejan 1.9 millones de toneladas al año y es uno de los mejores aeropuertos en el mundo (World Airport Awards, 2015) por su infraestructura y buen servicio tanto para los pasajeros como para el manejo de carga.



Figura 1.5 Flujo del proceso de carga.

Fuente: Elaboración propia con base en información de la página de Aeromexico Cargo (2016).

En la Tabla 1.1 se muestran nueve de 41 estaciones con el mayor número de guías aéreas despachadas, piezas y toneladas transportadas en un 2016. Estas diez estaciones representan el 82% de las operaciones en una empresa como Aeroméxico Cargo. Es importante mencionar que una guía aérea es un contrato entre el embarcador y la aerolínea que sirve como recibo para el remitente y que es emitida por el consolidador y sirve para indicar que el transportista ha recibido y aceptado la mercancía enlistada en la guía y que a partir de ese momento se compromete a trasladar la misma al aeropuerto de destino.

ORI	Guías	Pza	Ton
CDMX	290,000	1,600,000	16,500
MONTERREY	52,000	140,000	2,200
GUADALAJARA	41,500	160,000	2,200
TIJUANA	39,000	210,000	2,500
MERIDA	19,000	115,000	1,300
HERMOSILLO	14,000	35,000	600
CIUDAD JUÁREZ	13,000	45,000	550
CULIACAN	12,000	32,000	450
CANCUN	11,000	30,000	460
CHIHUAHUA	10,000	35,000	350

Tabla 1.1 Producción Estaciones Nacionales.  
Fuente: Información de Aeromexico Cargo (2016)

Se revisó la información y se identificó que en la mayoría de las estaciones a nivel nacional, se han detectado entregas tardías y daños en la carga. Esta situación parte de los reportes de irregularidades y quejas generadas por el cliente que ha realizado una reclamación y que a consideración de las cláusulas de la guía en la mayoría de los casos, se autoriza para reembolsar el daño al cliente, pérdida o incumplimiento en el servicio, representando una pérdida económica para la compañía.

Por ejemplo, en la Tabla 1.2 podemos ver el número de eventos por tipo, en los años 2014 y 2015. Estos eventos son una pérdida importante de flujo de efectivo de la compañía y si consideramos que la experiencia del cliente no fue satisfactoria, probablemente este no recomendará los servicios de Aeromexico Cargo o prefiera pagar los servicios con la competencia como Interjet o Estafeta , reflejado en la pérdida de clientes.

Año	Casos Reclamados	Monto (MXN)	Casos Pagados	Monto (MXN)
2014	207	\$4,965,000	145	\$835,000
Daño	130	\$4,200,000	95	\$520,000
Extravío	12	\$100,000	10	\$20,000
Faltante	10	\$150,000	5	\$45,000
Mal Servicio	20	\$380,000	15	\$220,000
Sustracción	35	\$135,000	20	\$30,000
2015	310	\$5,440,000	250	\$1,495,000
Daño	240	\$3,500,000	210	\$900,000
Extravío	20	\$550,000	15	\$190,000
Faltante	15	\$1,000,000	10	\$350,000
Mal Servicio	5	\$10,000	5	\$5,000
Sustracción	30	\$380,000	10	\$50,000

Tabla 1.2. Eventos Reclamados y Pagados por tipo por año.  
Fuente: Información calculada Aeromexico Cargo (2016).

Debido a estos casos de reclamo por parte del cliente como resultado de los daños en la carga se comenzó a revisar los destinos que generaban el mayor número de casos por un inadecuado manejo de carga. Se obtuvo el número de casos y el monto que debía pagarse para indemnizar al cliente debido a esta situación de daño. Así los destinos identificados, en donde se vió afectado al cliente fueron Monterrey, Mérida, Tijuana, Chihuahua, Guadalajara, Mexicali saliendo de la Ciudad de México y otros con origen en Tijuana y Mexicali con destino a la Ciudad de México, representando más del

70% de los casos (190 de 242) en donde existió mayor oportunidad para eliminar los daños originados por el movimiento de carga. Estos casos fueron identificados en los reportes realizados por el departamento de Garantías de Servicio y con la ayuda del proceso mapeado se recorrieron las áreas para identificar las oportunidades de mejorar en el manejo de carga. A pesar de que en estas ciudades es en donde se tiene la mayor cantidad de empleados laborando con apoyo de cámaras instaladas de seguridad y vigilancia; han sido los sitios donde más daños se han detectado durante el manejo de carga. Si tomamos en cuenta el flujo de inicio a fin de carga aérea para identificar la causa raíz, se identificaron cinco áreas para investigar: el almacén, la plataforma (donde operan las aeronaves), dentro del compartimento del avión, el destino (bajando del avión) y cuando hay una conexión.

En la figura 1.6 se puede identificar el incremento constante que cada año se presenta en el reporte de daños y se hace difícil identificar si existe una estacionalidad u otros factores que ayuden a visualizar las causas de esta situación.

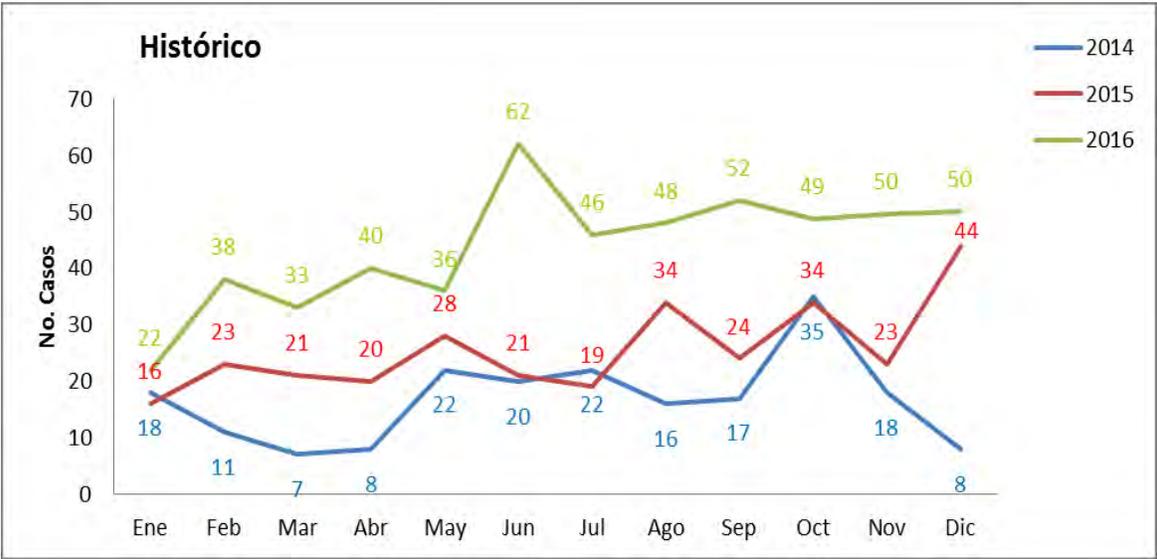


Figura 1.6 No. mensual de casos de daño  
Elaboración propia con información de Cargo (2016)

La transportación aérea tiene una ventaja clara en términos de pérdidas y daños. De acuerdo con un estudio de Lewis (2005), la proporción de los costos de reclamaciones por errores en el transporte de carga con respecto a los ingresos de venta por envío de

carga en el transporte aéreo, fueron sólo de 60% de aquellas que viajaron por tren o camión que sufrieron algún daño. Es decir, hubo una reducción del 40% en el costo de reclamación por haber enviado la carga por transporte aéreo.

Si hacemos una comparación de lo dicho en el párrafo anterior, para el caso de Aeromexico Cargo, se habrían pagado 16 millones si la misma carga reclamada se hubiera transportado en modo terrestre. Sin embargo, estos errores por daño en la carga reflejan una desfavorable experiencia en el cliente y es probable que cambien de servicio de aerolínea y no la recomienden.

La transportación aérea es parte fundamental de la cadena de suministro cuando los tiempos son cortos y cuando se requiere colocar los productos en el mercado pero parecería que en ocasiones los departamentos de logística de algunas compañías no comprenden la importancia de estos requerimientos en la cadena. Algunos puestos responsables en la alta gerencia, hacen preguntas como ¿por qué estar gastando tanto dinero en la transportación aérea? ¿por qué se tardan tanto en la embarcación de los productos? Este tipo de preguntas es comprensible cuando se revisan los costos de transportación, que son muy altos respecto al transporte terrestre; sin embargo, se hacen esfuerzos extraordinarios para mantener los costos logísticos lo más bajo posible, a pesar de utilizar el transporte aéreo.

Claramente para el mercado nacional, la carga como los medicamentos, equipo médico, insumos para situaciones de emergencia, perecederos como verduras, fruta y flores, componentes electrónicos y refacciones está generando un amplio crecimiento en el mercado y la carga aérea ofrece confiabilidad y velocidad (Heizer, 2005).

Fitzsimmons (2005) indica que medir la calidad del servicio es un desafío porque la satisfacción del cliente está determinada por varios factores intangibles. La calidad del servicio contiene características psicológicas porque se reflejan en la perspectiva del cliente. Si se genera un sistema de servicio, es necesario identificar posibles medidas de la calidad en el servicio, considerando cinco perspectivas, el contenido, el proceso, la estructura, lo que se obtiene y el impacto.

Para concluir este capítulo, se enuncia el problema de investigación: identificar como se relacionan las variables que integran el proceso de transportación de carga aérea. Las variables que integran las operaciones logísticas son las rutas de origen-destino, los errores o daños que se presentan en la operación, el tipo de aeronave donde se transporta la mercancía y los métodos de trabajo con los que se opera en el proceso de carga y con base en esta relación de análisis se satisfizo los requerimientos del cliente y con mejorar propuestas en el proceso mitigando los errores en el envío de la carga aérea.

## **CAPÍTULO 2: TÉCNICAS DE MEJORA CONTINUA**

En el primer capítulo se explicó de forma breve el comportamiento de las operaciones de carga y el problema de carga aérea que se presenta en una aerolínea.

En el segundo capítulo se explicará el Marco de Referencia de este trabajo de investigación, una sección de métodos y modelos que se han aplicado en la Cadena de Suministro y la Metodología de mejora continua que se ha aplicado en industrias de servicios.

El presente trabajo de investigación parte de los conceptos del transporte de carga aérea y la de mejora continua en este eslabón de la cadena de suministro. Esta sección pretende mostrar elementos teórico-metodológicos como la base donde se sustentará el análisis del problema y la propuesta de aplicar una metodología de mejora continua con base en el principio de ingeniería esbelta o *lean* aplicada a la cadena de suministro que permitirán comprender que la variación en los procesos se puede disminuir con la ayuda de técnicas y principios de calidad como *Six Sigma*.

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

El objetivo de este trabajo de investigación para este estudio es lograr un impacto financiero con base en un proyecto de mejora con el soporte de la metodología de *Six Sigma* utilizando herramientas estadísticas para identificar los puntos críticos buscando corregir el manejo y manipulación de los productos evitando el daño durante la transportación de la carga aérea para eliminar cualquier defecto reflejado en el servicio logrando satisfacer las necesidades de los clientes.

### **2.2 MODELOS DE MEJORA CONTINUA**

En esta sección se presentarán ejemplos de casos de estudio para validar las diferentes metodologías y teorías aplicadas con el objetivo de mejorar procesos de carga aérea.

Golicic (2003) comenta que el uso de transporte aéreo como opción de transporte para el envío de carga ha incrementado en los últimos años. De cierta manera, los operadores logísticos y transportistas consideran que el manejo de carga en aeropuertos es importante y existe una oportunidad de expandir el mercado a aeropuertos pequeños y medianos apoyado en un análisis de oportunidad de mercado (*MOA, Market Opportunity Analysis*) para determinar la factibilidad de expandir operaciones en particular de bienes y servicios. Este análisis puede ayudar a que los aeropuertos se equipen con la información necesaria para atraer y servir a clientes y desarrollar competidores para el manejo de la carga con el objetivo de evitar daños.

De acuerdo con Yang (2010) las empresas subcontratan los servicios logísticos por medio de agentes que se han convertido en socios de negocio para administrar la cadena de suministro. Las actividades de la logística en la cadena de suministro consisten en varios servicios interrelacionados, cada uno con su propio conjunto de requerimientos y variables que serán resueltos por el agente logístico. A través de la cadena de suministro se ha revisado la significancia que tiene la integración y consolidación de carga, compensación entre costos de carga, los beneficios y riesgos dentro de las actividades de los procesos logísticos y los diferentes roles de los tradicionales consolidadores (*freight forwarders*) e integradores en el manejo de carga que eviten el daño de la mercancía.

Dentro del transporte de carga aérea, las compañías deben considerar al proveedor de servicios logísticos que cuente con equipo único para las operaciones aéreas, infraestructura para el manejo de la información, flotilla de transporte y una red de distribución que son complementarias para la compañía. Para asegurar un socio sustentable en las operaciones logísticas se debe evaluar la reputación del servicio del proveedor, el enfoque por tipo de producto, procesos organizacionales, habilidad para ofrecer una adaptación de servicio al cliente o *customización*, compatibilidad intraorganizacional, entre otras características (Yang, 2010).

En la logística de carga aérea, los agentes interceden de manera simultánea con varios negocios de logística y con una red de distribución de carga que cuenta con varios

puntos de origen y destino. En este escenario, existen oportunidades para los agentes para reducir los costos y maximizar la utilización de los recursos logísticos combinando actividades similares de diferentes procesos reservando en las aerolíneas los espacios por volumen para que puedan ser ofrecidos a los diferentes clientes que utilizarán estos espacios vendidos. La consolidación de la carga es el proceso de combinar diferentes productos, que son fabricados y utilizados en diferentes localidades y tiempos, en un solo vehículo contenedor. Por lo tanto, la consolidación logística puede lograrse en tres dimensiones: consolidación por unidad, consolidación por tiempo y consolidación por ruta (Yang, 2010).

Una consolidación efectiva en cualquiera de las tres dimensiones permitirá al agente logístico involucrarse en la reducción de cargos por servicio y eventualmente brindar los ahorros a los embarcadores finales. Este escenario requiere del análisis de los embarcadores para evaluar la capacidad del agente en los trabajos de consolidación. Existen tres criterios esenciales: el tiempo (ej. Tiempos de entrega), el costo (ej. Tarifas de flete y precios de los servicios) y el riesgo (ej. Confiabilidad, pérdidas y daños) para seleccionar a un agente (Yang, 2010). Estos criterios son la base de los atributos de los servicios logísticos que son evaluados.

En ese sentido, para lograr la evaluación en las operaciones logísticas se identificaron las variables que intervienen en el transporte de carga aérea con la ayuda de un mapa de proceso y con los datos registrados en sistema para saber los orígenes y destinos, el tipo de carga, los tiempos de entrega y el tipo de manipulación de carga.

La calidad de los servicios logísticos ha sido definida de acuerdo a las diferencias que existen en el desempeño medido como la habilidad de distribuir un producto de conformidad con los estándares y requerimientos del cliente. Puntualidad, disponibilidad y condiciones del producto han sido identificadas como los aspectos más importantes en la calidad del servicio de distribución. Atributos como el precio y la calidad en el producto también han sido considerados y la incorporación de atributos en la información relacionados a la comunicación, precisión en la documentación y contacto con el personal involucrado en las operaciones también ha sido tomada en cuenta. La confiabilidad y cobertura en el servicio ha sido señalada

como atributos en la red integradora de servicios. Leung et al. (2010) percibe a la integración y la consolidación como dos facetas críticas en el proceso logístico. La primera como un agente que provee un eficiente flujo de bienes, información y ganancias a través del esfuerzo bien coordinado de los dueños del proceso logístico mientras que la consolidación tiene la característica de combinar embarques con diferentes características de rastreabilidad, trazabilidad, interoperabilidad, flexibilidad en la ruta y una alianza fuerte en la red logística son factores importantes para una eficiente integración y consolidación.

Yang (2010) diseña un cuadro de referencia para seleccionar las alternativas logísticas con respecto a la estrategia de una organización empresarial con la finalidad de producir, distribuir y comercializar el producto generando un marco de referencia para seleccionar alternativas logísticas basadas en aspectos de relaciones a largo plazo y administración de riesgo incluyendo factores operacionales y financieros para medir el desempeño.

Con esta explicación, la propuesta de YH Yang et al. (2010), es contar con un proceso analítico de redes (ANP por sus siglas en inglés) para seleccionar un servicio logístico en la carga aérea, existen métodos como el de “punto de peso”, la “matriz de abordaje”, la “matriz de desempeño de abordaje por venta” y el “análisis del perfil de venta” son adoptadas para evaluar el desempeño de los proveedores logísticos, sin embargo, son herramientas simples que no resuelven el problema de la integración de carga y por lo tanto, se han creado herramientas como el proceso de jerarquía analítica (AHP, por sus siglas en inglés), la programación multiobjetivo y la teoría de utilización multiatributo. Aunque tampoco estas técnicas contemplan las interacciones entre factores de decisión. Algunas de ellas fueron documentadas utilizando un modelo ANP (Yang, 2010).

La selección de un agente logístico (incluyendo la aerolínea) requerirá de una metodología que pueda encargarse de las posibles interacciones a través de factores de decisión y variables establecidas en múltiples etapas del proceso. El ANP, un

proceso que generaliza la versión de AHP, puede establecer explícitamente las interacciones entre los atributos y subatributos. El ANP evalúa el impacto de la dependencia entre elementos mediante el desarrollo de una “supermatriz” parecida a la cadena de Markov (Leung, 2010). También se formularon modelos ANP para resolver el conflicto entre inversionistas en los centros de operadores logísticos. Estas dos selecciones de alternativas logísticas utilizaron un esquema ANP para establecer la interdependencia común de los atributos de decisión (Yang, 2010).

Utilizando el esquema general de Garvin (1987), se fue alimentando las características de las actividades logísticas en dimensiones de atributos tácticos más relevantes (Tabla 2.1) cuyas dimensiones están interrelacionadas entre sí (Garvin, 1987).

Desempeño	Características	Confiabilidad	Conformidad	Capacidad de Servicio	Calidad percibida
Rapidez en el procesamiento de carga	Rastreabilidad	Tasa de mal manejo de carga	Retrasos inesperados de la aerolínea	Consolidación de mercancía	Reputación en servicio
Tiempo en transportación aérea	Interoperabilidad de sistemas de información		Exactitud en la documentación	Manejo especial de carga	Cobertura y frecuencia
	Capacidad EDI ( <i>electronic data interchange</i> )		Daños y pérdidas		No. de aviones
	Servicios a la medida				
	Entrega inmediata				

Tabla 2.1 Atributos tácticos de la Carga Aérea

Fuente: Elaboración propia con base en el artículo de Journal of the Operational Research Society (Yang, 2010)

Con los atributos tácticos (Tabla 2.1) nos da un parámetro para identificar cuáles son las características necesarias para cumplir con las expectativas del cliente, la confiabilidad y conformidad con la que opera la aerolínea para saber si tiene la capacidad de cumplir con el servicio.

Como se comentó en la página 22, el atributo que se estudiará en este trabajo de investigación es el que se encuentra en la dimensión “Conformidad de la carga aérea: Retrasos inesperados y daños y pérdidas” mostrados en la Tabla 2.1.

Como resultado de la confiabilidad del manejo de carga (Zamora, 1975), resulta difícil rastrear en donde podría haber un riesgo de daño de carga considerando que hay puntos en donde no es posible que haya una rastreabilidad de la carga si no se tienen puntos de revisión, ya sea con la aerolínea o con el responsable de embarcar la carga, es decir el aquél que entrega la carga a la aerolínea. Esta incertidumbre se agrava en el uso de contenedores ya que normalmente se sella en el punto de embarque y se abre hasta el destino, por lo que se dificulta saber quién es el responsable del daño.

A pesar de que existen seguros para cubrir el daño de la carga, si los clientes son afectados, la aerolínea asumirá la responsabilidad de acuerdo con el artículo 63 de la Ley de Aviación Civil y establecido en la Conferencia de La Haya en 1921 para acordar el pago de la mercancía de acuerdo con el peso del producto siendo en la mayoría de los casos, que el reembolso por concepto de pago de daños sea menor que el costo de la mercancía (Zamora, 1975) y que se ratifica en el Convenio de Montreal (1999).

A pesar de que existen herramientas tecnológicas como cámaras de seguridad, dispositivos de rastreo de temperatura, de rastreabilidad para evitar al máximo los daños, al momento de monitorear y reportar los daños generados en la manipulación de carga existen estudios que reúnen, clasifican y recuentan los hechos que tienen una determinada característica en común (transportación de carga) para poder llegar a conclusiones a partir de los datos numéricos extraídos que conocemos como estadística. Hahn (1999) menciona que la estadística cambia el paradigma de cómo debe aplicarse esta herramienta en los negocios y en la industria teniendo un impacto de cambio de todos los involucrados en la organización que se refleja en la cultura organizacional, operaciones y rentabilidad de las compañías. El problema a resolver se dará en términos estadísticos como base de la metodología de mejora continua como *Six Sigma* para la mejora de procesos con el objetivo de eliminar los defectos de los

productos, los procesos y operaciones de la compañía. *Asea Brown Bavari (ABB), Allied Signal, General Electric (GE), Lockheed-Martin, Motorola, Polaroid y Texas Instruments han aplicado esta metodología y Six Sigma* fue un factor para que Motorola ganara el Premio de Calidad Malcolm Baldrige reportando ahorros por 940 millones de dólares en tres años (Pyzdek & Keller, 2010). En 1997, *Allied Signal*, en su reporte anual reportó ahorros estimados por 1.5 billones de dólares por su iniciativa de implementar *Six Sigma* y finalmente en 1988, Jack Welch en el reporte anual de *GE* reportó haber invertido casi un billón de dólares en esta iniciativa durante tres años y el retorno de inversión fue exponencial, reportando en tres trimestres casi un billón de ahorros estimando que para 1999 tendrían ahorros por más de 1.5 billones de dólares siendo un éxito rotundo (Pyzdek & Keller, 2010).

La implementación de la metodología de *Six Sigma* según Hahn (1999) es genérica. Puede ser aplicada a las compañías que generan rentabilidad en el negocio y además en cualquier actividad relacionada con los costos, oportunidades y calidad en los resultados incluyendo servicios de salud y censos nacionales. Por lo que, es importante desarrollar en las empresas la aplicación de la estadística en la interpretación de resultados y la toma de decisiones. En caso contrario, es probable que los resultados se mantengan de la misma forma y no generen rentabilidad.

Hace 80 años Walter Shewhart, ingeniero y estadístico estadounidense conocido como el padre del control estadístico de calidad, comentó “que era importante contribuir a largo plazo en la estadística, no a través de profesionistas con el perfil para estudiar esta ciencia sino crear una generación con mentalidad estadística de físicos, químicos, ingenieros y otros que estuvieran interesados en desarrollar y dirigir los procesos productivos del mañana” (Shewhart, 2012). Este pensamiento también viene reflejado en el cuarto elemento del Sistema de Conocimiento profundo de Deming: Teoría de la Psicología y como resultado es el trabajo y desarrollo subsecuente de *Six Sigma*, teniendo la estadística credibilidad como nunca antes. Ahora los presidentes de las compañías mencionan la recolección de datos, el diseño de experimentos y el uso del Control Estadístico de Procesos para la solución de problemas (Pande, 2000).

Snee & Hoerl (2003) proveyeron una excelente discusión de estrategias de desarrollo de Six Sigma. Muchas compañías reportaron una estrategia en cascada dirigida por la alta gerencia cuando otras solo lo enfocaron a un nivel operacional. La estrategia en cascada es mucho más efectiva a largo plazo y usualmente lidera hacia un éxito inmediato. Algunas organizaciones han desarrollado esta estrategia de manera parcial, empezando por una o varias divisiones específicas o unidades operativas y expandiendo el desarrollo hacia otras áreas cuando el éxito en la estrategia se ha logrado. Desarrollos parciales o en niveles operativos corren el riesgo de no ser apoyados por la alta gerencia. Relacionado con desarrollar una estrategia, existen tres claves de éxito (Snee & Hoerl, 2003):

1. compromiso e involucramiento de la alta dirección;
2. adquisición del mejor talento, y;
3. soporte de Infraestructura (financiera).

El compromiso y el involucramiento de la alta dirección se deben a su considerable energía para asegurar el éxito. El mensaje enviado a los colaboradores de la metodología de *Six Sigma* debe permear en los objetivos de los involucrados en el proyecto y por tal motivo, es importante seleccionar al mejor talento en el proyecto para lograr las metas. El soporte de sistemas financieros se refiere al registro de los beneficios obtenidos por reducción, optimización y ahorro en costos durante el desarrollo del proyecto. Ejemplo de esta estrategia, es la de "*Caterpillar*: La forma de hacer negocios- la manera en como administraron la calidad, eliminaron el desperdicio, reduciendo costos, creando nuevos productos y servicios, desarrollando futuros líderes, y ayudando a mejorar la rentabilidad de la empresa (Pyzdek & Keller, 2010). Continuando a encontrar mejores formas para aplicar la metodología para vencer los retos en el negocio". En el caso de *Bank of America*, sucedió lo mismo, "siguiendo una estrategia disciplinada, enfocada en el cliente y con un crecimiento positivo". Estos son fuertes respaldos de *Six Sigma* de dos líderes de negocio altamente reconocidos que lideran dos tipos de organizaciones, una de manufactura y otra de servicios financieros. Pyzdek & Keller (2010) explican el programa de Six Sigma de *Bank of America* con más detalle.

Con el marco conceptual de este trabajo de investigación se justifica que dentro de las diferentes técnicas que se muestran para el análisis de las operaciones logísticas, una herramienta factible de utilizar es la de mejora como *Six Sigma* considerando aplicarla en uno de los atributos técnicos de la cadena de suministro que son los daños y pérdidas en la carga aérea, por lo que en el siguiente capítulo se explicará el desarrollo de esta metodología en este campo de estudio.

El uso de la metodología en los programas de mejora continua permitirá conocer la voz del cliente, los datos, el proceso y un pensamiento diferente de la mejora continua para resolver problemas e incrementar la satisfacción en el cliente.

<b>Resumen del Marco Conceptual</b>	
Análisis de Oportunidad de Mercado	Estudio de volúmenes y operaciones para atraer y servir a clientes en el manejo de carga con el objetivo de evitar daños.
Empresas de Servicios Logísticos	Integración y consolidación de la carga para aumentar la rapidez en la entrega de productos en los procesos logísticos (consolidación por unidad, por tiempo o por ruta) en el manejo de carga para evitar daños.
Servicios de Distribución	Distribución de productos mediante estándares y requerimientos del cliente basados en la puntualidad, precio, precisión en documentación y contacto con personal involucrado en las operaciones.
Proceso de Jerarquía Analítica	Programación multiobjetivo para toma de decisiones para resolver conflictos en los operadores logísticos
Atributos tácticos de la Carga Aérea	Características de actividades logísticas en atributos tácticos más relevantes para identificar las características críticas del

	cliente y cumplir con sus expectativas.
Implementación de Six Sigma	Enfocado a la mejora de procesos con el objetivo de eliminar los defectos de los productos, los procesos y operaciones de la compañía que generan rentabilidad en el negocio.

Tabla 2.1 Resumen del Marco Conceptual  
Elaboración propia con base en Sección 2.2

### 2.3 METODOLOGÍA DE SIX SIGMA

En esta sección se explicará a detalle cada una de las fases que integran la metodología de *Six Sigma* con el objetivo de mostrar el potencial de la herramienta para resolver problemas de negocios.

Una metodología de mejora continua como *Six Sigma* se refiere a la filosofía y métodos que las compañías han adoptado para eliminar los defectos de sus productos y sus procesos.

*Six Sigma* es una rigurosa, enfocada y altamente efectiva implementación de principios y técnicas de calidad probada. Con elementos incorporados del trabajo de pioneros de calidad, *Six Sigma* tiene como objetivo lograr cero errores en el rendimiento de los negocios. Sigma,  $\sigma$ , es una letra en el alfabeto griego utilizada por los profesionistas de estadística para medir la variación de cualquier proceso.

*Six Sigma* descarta una gran parte de la complejidad de la Administración de Calidad Total (TQM por sus siglas en inglés) debido a que utiliza ciertas herramientas que se aplican en esta metodología para desarrollar un modelo sencillo conocido como DMAIC:

D – Definir las metas de la actividad a mejorar;

M – Medir el sistema actual;

A – Analizar el sistema para identificar métodos para eliminar la brecha entre el desempeño actual del sistema o proceso y la meta deseada;

I – Mejorar el sistema;

C – Controlar el nuevo sistema.

*Six Sigma* se enfoca en ayudar a la organización a obtener mayores recursos a través de mejorar los productos y servicios para agregar valor al cliente y mejorar la eficiencia de los procesos. Con ello, Pyzdek & Keller (2010) establecen una nueva definición de calidad: el valor agregado del esfuerzo de la productividad.

*Six Sigma* se enfoca en mejorar la calidad, por ejemplo, reduciendo el desperdicio, ayudando a las organizaciones a producir productos y servicios de mejor manera, más rápidos y a menor costo. ***Six Sigma* se enfoca en los requerimientos del cliente, en prevención de defectos, reducción de tiempo de ciclo y ahorro en costos** (Pyzdek & Keller, 2010). Por lo tanto, *Six Sigma* identifica y elimina los costos que no agregan valor a los clientes, es decir, costos de desperdicio (Pyzdek & Keller, 2010).

Esta situación o término se conoce como costos de calidad, o para darle una definición diferente se llamarán “costos de pobre calidad”, en este trabajo de investigación, se referirá como COPQ por sus siglas en inglés. Las compañías operando con *Six Sigma* gastan al menos 5 por ciento de sus ganancias en resolver problemas como se muestra en la figura 2.1.

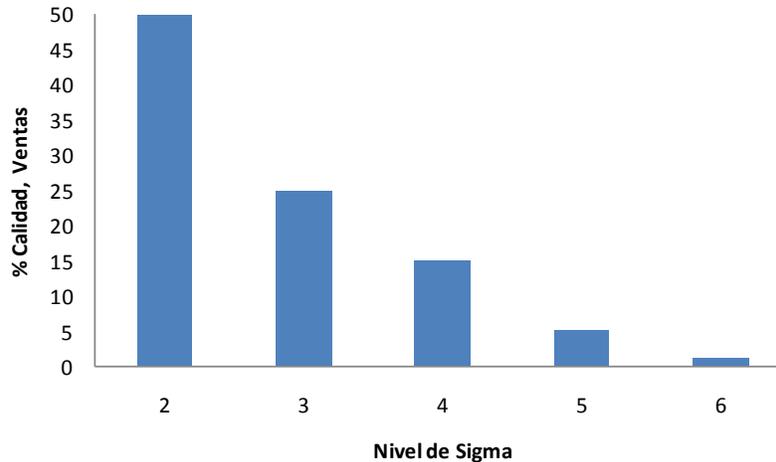


Figura 2.1 Costo de pobre calidad versus nivel sigma  
Elaboración propia con base en Pyzdek & Keller (2010)

Los valores de COPQ que se muestran en la figura 2.1, son el resultado de varios estudios reportados (Pyzdek & Keller, 2010), el porcentaje de costos de ventas destinados por problemas de calidad se debió al desempeño del proceso calculados en niveles de sigma, es decir entre menor sea el desempeño de proceso (más defectos), los costos de pobre calidad serán más altos y las ganancias obtenidas en las ventas se destinarán a solucionar el problema en lugar de que se destinen como utilidad para la compañía. General Electric estimó que la diferencia entre tres o cuatro sigma y six sigma estaban costando entre 8 y 12 billones por año (Pyzdek & Keller, 2010).

En la figura 2.2 se muestra la relación entre los errores por millón de oportunidades y los niveles de sigma. Entre menor sean los defectos del producto o errores en el servicio por unidades producidas (oportunidades), el desempeño del proceso medido en niveles de sigma será más alto. Se puede notar que la proporción de error cae exponencialmente cuando el nivel de sigma sube y está bien correlacionada con los datos de los costos en venta mostrados en la gráfica anterior.

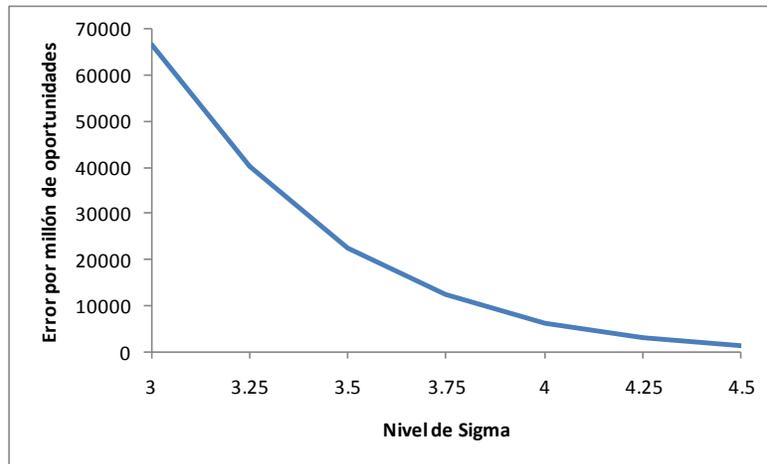


Figura 2.2 Tasa de error versus nivel de sigma  
Elaboración propia con base en Pyzdek & Keller, (2010)

La empresa *Deutsche Post DHL* tiene un programa desarrollado a nivel mundial llamado "*First Choice*" que utiliza diferentes herramientas tomadas de la metodología *Six Sigma & Lean Manufacturing* siendo el ciclo DMAIC la estructura del método empleado para esta estrategia que ha sido posible mejorar el desempeño del servicio significativamente de una manera altamente estructurada que clasifica los métodos para resolver los problemas y situaciones presentadas con los clientes (Deutsche Post DHL Group, 2016).

Sin entrar al detalle del proyecto de *First Choice* la aplicación de la metodología ha funcionado teniendo menos errores en sus operaciones y así se realizará en este trabajo de investigación, un análisis con el uso de herramientas estadísticas que permitan conocer si existe relación entre las causas-raíz detectadas y el efecto de las variables de entrada en las variables de salida del caso de estudio.

Larson (2003), Director de Calidad de Motorola sugiere los siguientes seis pasos para lograr los resultados de una mejora continua más contundente:

1. identificar el producto que se fabrica o el servicio que se ofrece;
2. identificar a los clientes y determinar las necesidades de los mismos;
3. identificar a los proveedores y qué se necesita de ellos;

4. definir el proceso para realizar el trabajo;
5. establecer las métricas de medición del proceso y los mecanismos de retroalimentación para determinar la satisfacción del cliente;
6. asegurar la mejora continua manteniendo la continuidad de las mediciones, el análisis y concluir con las tareas asignadas a los equipos de trabajo.

Con ello podemos explicar la metodología de *Six Sigma* y conocer en que consiste cada una de sus fases.

#### 2.3.1 FASE DEFINIR

En la fase Definir se cubrirán tres temas principales:

1. El **SIPOC** (Pande, 2000) o mapa de primer nivel, es una técnica para dibujar un mapa de proceso a su nivel más simple. Los cinco elementos de este proceso son:
  - proveedor: es quien suministra las entradas al proceso;
  - entradas: son los materiales, recursos o datos que se requieren para ejecutar el proceso;
  - proceso: es la serie de actividades o pasos que se realizan para tomar las entradas y transformar las salidas que le dan valor al cliente;
  - salidas: son los productos o servicios resultado del proceso;
  - cliente: es quien recibe las salidas o resultados del proceso.

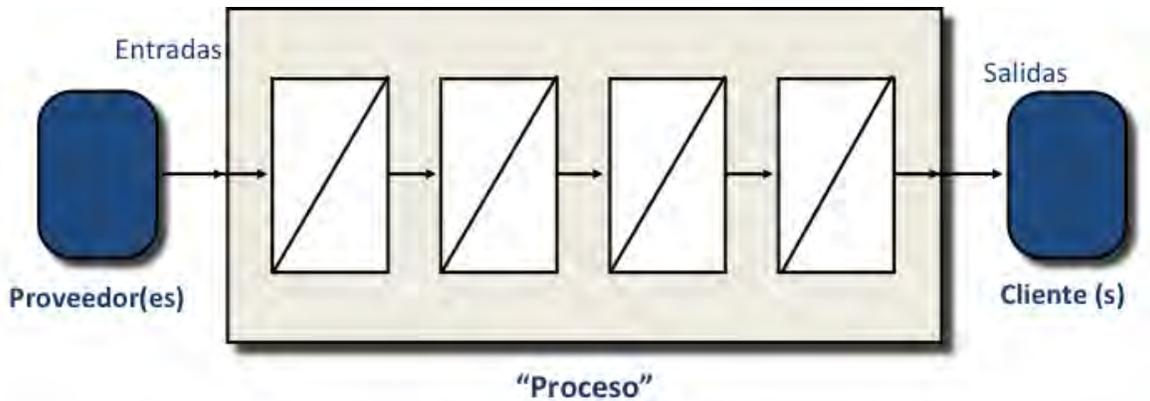


Figura 2.3 SIPOC  
Elaboración propia con información de Pande (2000)

Debemos validar el mapa del proceso para asegurarnos que está representado “como es”, evitar un mapa de proceso que esté definido “cómo debería ser” o “supuestamente es”, el objetivo es mejorar el “como es”.

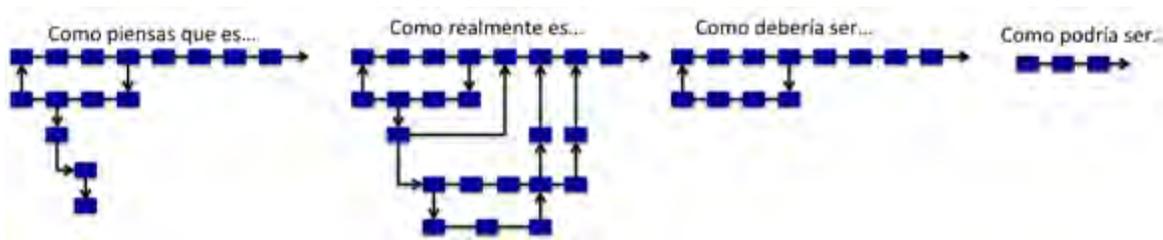


Figura 2.4 Versiones de un proceso  
Fuente: Generada con información de George (2007)

2. El **enfoque en el cliente**, define cuáles son las necesidades de éste en el proceso. Para definir las características críticas de calidad o *CTQs* (George et al., 2007), se debe recopilar la información de la Voz del Cliente utilizando herramientas relevantes como encuestas, entrevistas, retroalimentación, etc. Se debe asegurar que los *CTQ's* están relacionados con el planteamiento del problema, con el fin de garantizar que la fase de “Mejorar” coincida con las necesidades de los clientes.

Las necesidades del cliente se identifican a través de los datos recolectados de los clientes. Estos datos proporcionan información acerca de qué es lo que los clientes requieren de los productos o servicios.

El objetivo de interpretar la Voz el Cliente (VOC) es establecer claramente las necesidades del cliente de una manera específica y medible. Las *CTQs* incluyen:

- la característica de salida (oportunidad, exactitud...);
- métrica del proyecto;
- objetivo;
- límites de especificación del cliente.

3. La **Carta de proyecto** es un documento que ayuda a evitar que el proyecto pierda dirección. Proporciona un enfoque para quien realiza la mejora. Es una carta de compromiso, firmado por el patrocinador, el comité de gestión, el dueño del proceso, el gestor de mejora, el líder del equipo, así como el propio equipo. Es un documento vivo, que revisa el resultado del proceso DMAIC por lo que las oportunidades financieras que se hayan calculado en esta fase no son revisadas, a menos que el alcance y el objetivo del proyecto hayan cambiado.

La carta de proyecto logra tener una comunicación sencilla hacia la organización y promueve mejores prácticas para el desarrollo de los proyectos. Se define de la siguiente manera:

Planteamiento del problema: Describe la diferencia entre lo que ocurre y lo que debería ocurrir,, el impacto, consecuencias o amenazas presentadas concernientes a la situación u oportunidad; antecedentes de cuándo y dónde se presenta o es observado el problema; una o más medidas de la diferencia entre el hecho y lo que se desea del sistema. Para poder identificar el problema, una técnica útil es mapear el proceso para entenderlo y localizarlo.

Planteamiento de la meta: Se define como el objetivo de mejora del responsable del proyecto y debe ser “*SMART*” por sus siglas en inglés que significan:

- Específico: objetivo dedicado al proyecto y directamente vinculado al CTQ del cliente;
- Medible: tasa actual de defectos y meta del proyecto deben ser definidos;
- Alcanzable: la meta debe lograrse en un periodo establecido;

- Realista: el proyecto puede ser realista pero no necesariamente alcanzable (problemas de recursos, por ejemplo);
- en Tiempo: al proyecto se le debe establecer una fecha límite, para establecer visibilidad a los accionistas y para que el equipo del proyecto esté dedicado a cumplir con el periodo establecido, con el objetivo de llegar hacia la meta.

Estos dos planteamientos lograr asegurar que la tasa de defecto y el objetivo de mejora es visible a través de un proceso DMAIC.

El alcance del proyecto debe ser lo más preciso posible, definir un alcance muy amplio logrará que el equipo se desvíe proponiendo soluciones que estén fuera de su influencia, de su capacidad o de recursos para poder implementar, y un alcance que sea muy pequeño puede generar soluciones con resultados limitados sin éxito alguno.

Las oportunidades de negocio necesitan ser claras y plasmarse de inmediato en la carta del proyecto, con el fin de facilitar la toma de decisión para priorizar los proyectos propuestos a través del negocio y asegurar que los recursos sean asignados correctamente para enfocar el esfuerzo del equipo en la meta y lograr los resultados.

El equipo de trabajo, los roles y responsabilidades en el proyecto deben quedar claros para todos, ya que las funciones que realizará el equipo serán de funciones cruzadas entre los diferentes integrantes para lograr los cambios y mejoras en el proceso.

El plan del proyecto debe tener los pasos clave y las fechas compromiso para lograr las metas y se tendrán que enlazar o vincular las fases del proceso DMAIC para dar continuidad a las tareas. Establecer un compromiso de cumplimiento de las tareas asignadas (entregables del proyecto) provocan un sentido de urgencia y aseguran que los resultados se cumplan en tiempo.

### 2.3.2 FASE MEDIR

Los objetivos de la fase Medir incluyen los siguientes pasos:

- Definición del proceso: asegurar el proceso específico a revisar y sea claramente definido;
- Definición de métricas: definir un medio confiable para medir el proceso, relacionado a los entregables del proyecto;
- Establecer la línea base del proceso: para cuantificar los resultados operativos actuales con la finalidad de verificar previamente las necesidades del negocio, y para corroborar los resultados de mejora.
- Evaluar el sistema de medición: para validar la confiabilidad de los datos para extraer conclusiones significativas.

El significado de medir es en el contexto de un proceso de negocio en particular para recolectar datos con el objetivo de monitorearlos y entenderlos.

Los datos pueden recolectarse en cualquier parte de las salidas del proceso, en el proceso o en las entradas del proceso. Las salidas son utilizadas para saber qué tan bien están relacionadas con los CTQs del cliente.

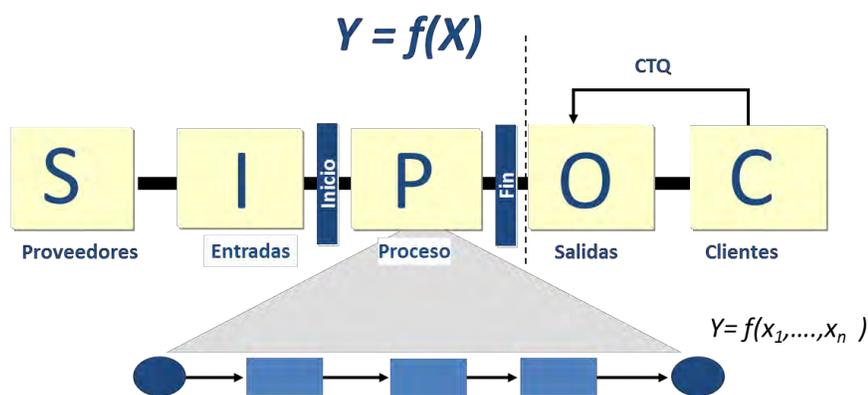


Figura 2.5 Mapa de proceso de primer nivel  
Fuente: Elaboración propia con base en George et al. (2007)

En términos matemáticos, la salida o  $Y$  en una función, es considerada como una variable dependiente porque su valor depende de una o más variables de entrada en el proceso o  $Xs$ .

$$Y = f(x_1, \dots, x_n)$$

Las X describen aspectos de las entradas y pasos del proceso y son utilizadas para definir los requerimientos de los proveedores al proceso y las “reglas operacionales” para los diferentes pasos del proceso. El enfoque en la fase Medir es en las salidas o variable Y como se muestra en la figura.

En términos matemáticos, las Xs son consideradas variables independientes porque pueden presentar valores únicos para que influyeran la métrica Y.

Es decir,  $Y = f(x)$  representa la función de transferencia que establece la relación que existe entre las Xs y la Y. El tipo de función dependerá de la estabilidad del estudio a través de corridas, tendencias, patrones y con la ayuda de gráficas como histogramas, determinando la distribución e indicadores apropiados de tendencia central y variación y mostrando si existe causas especiales en el proceso de estudio.

En la fase Definir, el primer elemento identificado fue el CTQ (característica) y en la fase Medir se revisarían los tres elementos restantes de la CTQ definida:

- La medida clave de salida Y: medida definida como esencial desde la perspectiva del cliente;
- Meta u objetivo: el valor óptimo para la medida Y;
- Límites de especificación o tolerancia: el rango de valores de salida aceptable para Y, también conocida como estándares de desempeño, se refiere a cualquier valor que cae fuera de la tolerancia o especificación del cliente, a esta situación la llamaremos defecto.

Después de haber identificado la medida clave de salida, se recolectarán los datos de la siguiente manera:

1. Establecer el objetivo de recolectar los datos.

La recolección de datos sirve para identificar patrones y tendencias de desempeño con el objetivo de establecer una línea base actual de los defectos que arroja la salida del proceso que se requiere evaluar. Se debe considerar una técnica de segmentación, que consiste en separar los datos en grupos para hacer un análisis en categorías más pequeñas y hacer una comparación entre un desempeño bueno versus un desempeño

pobre que puedan servir para identificar si las variables de entrada, afectan las variables de salida.

## 2. Desarrollar definiciones y procedimientos operacionales.

Especificar claramente las variables que se recolectarán a través de definiciones operacionales para todas las métricas y asegurar que estas descripciones especifiquen la manera en que se medirán los datos.

Los pasos para el muestreo son recolectar una sola porción de datos que pueda ofrecer conclusiones acerca de la población. Una muestra aleatoria es cuando la elección sigue un método impredecible refiriéndose a tomar una serie de observaciones independientes de la misma distribución de probabilidad. Todos los datos disponibles se refieren a una población que llamaremos  $N$ . El propósito del muestreo es concluir acerca de la población utilizando una muestra  $n$  y que se conoce como inferencia estadística, esto se puede ver en la siguiente figura:

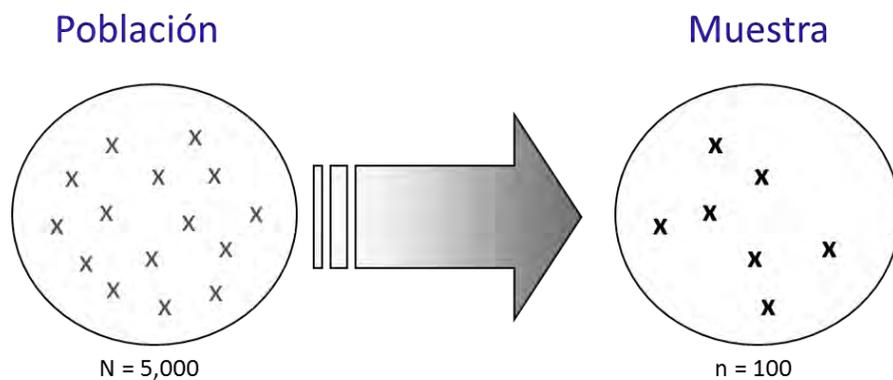


Figura 2.6 Inferencia estadística  
Fuente: Elaboración propia con base en el libro de George et al. (2007)

## 3. Asegurar la consistencia y estabilidad de los datos (validar el sistema de medición).

El análisis del sistema de medición (George, Rowlands, & Price, 2007), que por sus siglas en inglés se conoce como MSA, se define por una serie de métodos para estimar el resultado actual de variación en el flujo de medición.

Existen seis fases clave para comprobar si el MSA es un sistema de medición que genera variación en los resultados.

- a. Determinar qué MSA es apropiado con base en el tipo de datos recolectados.
- b. Determinar qué aspectos en los errores de medición son más relevantes para el estudio de MSA (precisión, repetitividad, reproducibilidad, estabilidad, linealidad).
  - i. Precisión: Se define como la diferencia entre la medida promedio observada y la medida estándar.
  - ii. Repetitividad: Se define cuando se presenta la variación cuando una persona mide repetidamente la misma unidad con el mismo equipo de medición.
  - iii. Reproducibilidad: Se define como la variación que existe del resultado de las mediciones de una misma unidad o producto entre dos o más personas con la ayuda del mismo equipo de medición.
  - iv. Estabilidad: Se define como la variación obtenida cuando la misma persona mide la misma unidad con el mismo equipo en un periodo de tiempo.
  - v. Linealidad: Se define como la consistencia del sistema de medición a través del intervalo completo de la escala de medición.
- c. Direccional el MSA (hacia la medición de las unidades en repetidas ocasiones para cuantificar la variación del flujo de medición).
- d. Determinar si el proceso de medición debe ser mejorado.
  - i. Para datos continuos, un estudio de calibración de Repetitividad y Reproducibilidad se debe realizar si el resultado del producto o servicio se encuentra arriba del 30% de tolerancia ya que no será aceptable por el cliente. Si se encuentra entre 10% y 30%, posiblemente sea aceptable y menor a 10% se considera aceptable.
  - ii. En cambio, para datos discretos el mínimo deberá ser 90% de precisión, repetitividad y reproducibilidad en todos los casos.
- e. Determinar de qué manera el proceso de medición será mejorado.
  - i. En esta fase, se deben identificar factores que pueden causar variación en el flujo de medición (error de medición) y posibles fuentes que generen inconsistencia y estabilidad en los datos como el error humano (conocimiento,

habilidad o técnica), error en el equipo de medición (capacidad, fácil de usar, a prueba de error, calibración, uso apropiado), también es posible que sea de método o procedimiento (documentación, implantación, definiciones o procedimientos no claros en su operación) y por error en materiales como los formatos en la recolección de datos. Por lo que se debe reducir el impacto de estos factores para mejorar el proceso de medición.

- f. Los pasos para auditar el sistema de medición para asegurar la precisión y las mediciones consistentes son:
- i. Determinar qué tan frecuente son las auditorías;
  - ii. Determinar qué se debe auditar;
  - iii. Asegurar que el procedimiento y documentación estén actualizados;
  - iv. Asegurar que los procedimientos y documentación se utilicen;
  - v. Cuantificar el MSA.

El error de medición siempre está presente en el total de la variación observada y por lo tanto, se debe disminuir dicha variación en el flujo. Es importante utilizar el MSA para identificar la cantidad de variación en el proceso y que el error de medición se pueda prever para evitar un impacto en el cliente.

#### 4. Recolectar los datos y monitorear la consistencia.

Planear cuidadosamente no es suficiente para asegurar una recolección de datos confiable. Se debe asegurar que el sistema de medición no tiene variaciones y los datos que son recolectados son consistentes (George, Rowlands, & Price, 2007). Para ello, se sugiere lo siguiente:

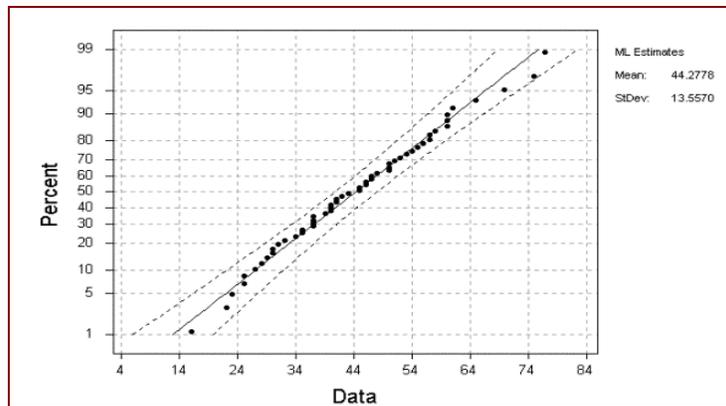
- comunicar el qué y por qué a los tomadores de datos y a los participantes del procedimiento;
- entrenar a todo aquel que este recolectando los datos;
- pilotear los pasos de recolección de datos y ajustar lo necesario;
- confirmar el entendimiento de las definiciones operacionales;
- realizar procedimientos de recolección de datos a prueba de error;
- supervisar la obtención de r de datos que esté operando el sistema;

- asegurar que el sistema de medición es estable;
- asegurar que los procedimientos de medición se mantienen consistentes (en horas extras y cuando se entrega el turno entre recolectores de datos);
- revisar que los datos que se observan son consistentes.

## 5. Monitorear la variación

La clave para asegurar la mejora de procesos es comprender cuáles son las causas de la variación en el desempeño del sistema realizando un diagnóstico simple en la variación presentada en una serie de datos (George, Rowlands, & Price, 2007).

La forma de la distribución de datos en una gráfica dicta qué mediciones son las más apropiadas para utilizar. Lo importante es que exista una normalidad en los datos graficados y no exista una tendencia; esto se puede comprobar con una prueba de normalidad para observar cómo los datos están distribuidos en porcentaje en una escala no lineal construida en distribuciones normales.



Gráfica 2.7 Prueba de Normalidad graficada en un software estadístico Minitab  
 Fuente: Elaboración propia con base en un ejemplo del libro de George et al. (2007)

Para mayor referencia del lector revisar en la bibliografía mostrada en este trabajo de investigación. En la figura 2.8 se muestra un resumen sobre la descripción de la distribución de datos y las medidas que se deben utilizar para datos estadísticos.

Forma	Centricidad	Dispersión
-------	-------------	------------

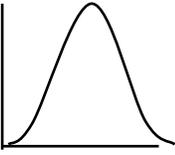
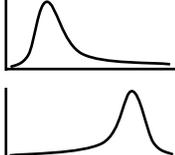
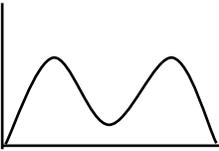
 Normal	Media ( $\bar{x}$ )	Desviación Estándar ( $s$ )
 Sesgada	Quartil Q1 o Q3	Factor de Estabilidad (SF)
 Cola alargada	Mediana ( $\tilde{x}$ )	Rango
 Bimodal	Diferentes flujos deben ser estratificados antes de calcular la estadística descriptiva	

Figura 2.8 Resumen sobre la descripción de la distribución  
Fuente: Generada con información de George, Rowlands, & Price (2007)

## 6. Sigma del Proceso

El nivel de Sigma en el proceso es una medida de capacidad que se puede utilizar para expresar el desempeño del flujo con respecto a los requerimientos del cliente en cualquier sistema.

### Sigma del Proceso versus DPMO

Sigma del Proceso	Defectos Por Millón de Oportunidades (DPMO)
6	3.4
5	230
4	6,210
3	66,800
2	308,000

Capacidad del Proceso      Defectos del Proceso respecto a estándares de desempeño

(\*Valores incluyen cambios +/- 1.5σ)

Figura 2.9 Tabla que muestra el impacto en los clientes al reducir los defectos en el proceso.  
Fuente: Generada con información de George et al. (2007)

En el ejemplo abajo señalado se muestra la distribución de una medida clave de salida Y (ejemplo: tiempo de llamada). El tiempo de llamada es la cantidad de tiempo requerida para atender a un cliente en un servicio de llamadas telefónicas.

Para medir la capacidad del proceso, es decir, si cumple con atender las llamadas dentro de los 15 minutos, se necesita determinar si ese tiempo estará por fuera del límite de especificación comprometido con el cliente.

Estimando el porcentaje de defectos, se permite el uso de datos para compararlos con una distribución normal y obtener un Sigma de proceso estimado.

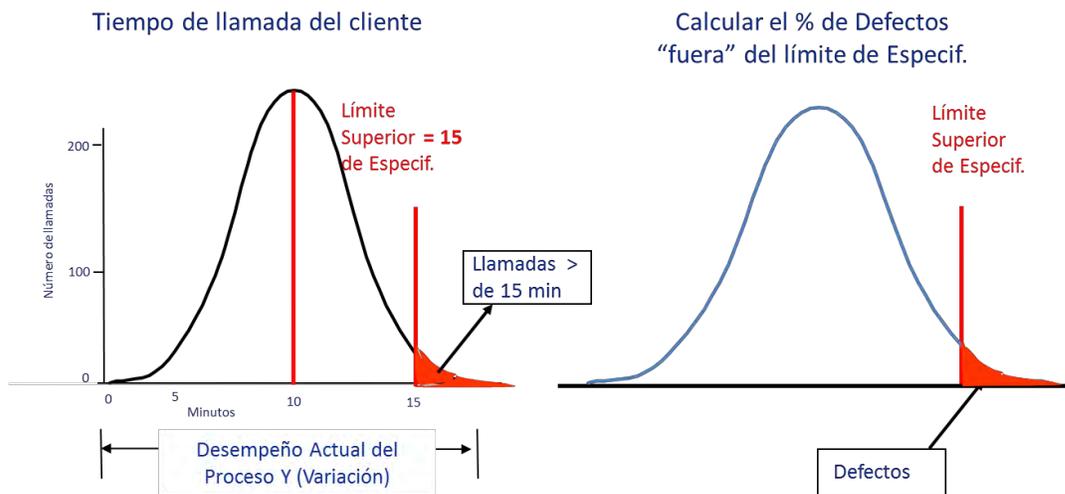


Figura 2.10 Comparación del desempeño de salida de las especificaciones del cliente

Entre menor sea la variación en el sistema, mayor será el valor de Sigma.

### 2.3.3 FASE ANALIZAR

Para comprender la fase Analizar, definiremos una causa raíz como una condición o variable fundamental ( $X$ ) que es responsable de un cambio significativo en la variable clave de salida ( $Y$ ). A través del análisis de los datos, se podrá evaluar el flujo de operación para validar los hallazgos obtenidos de las causa raíz.

El resultado que se obtiene de la variable de salida  $Y$ , está en función de los procedimientos y de las variables de entrada  $Xs$ , es decir, se revisará el flujo y los datos procesados para entender de qué manera están relacionados y si existe una dependencia entre uno y otro como se muestra en la figura 2.11.

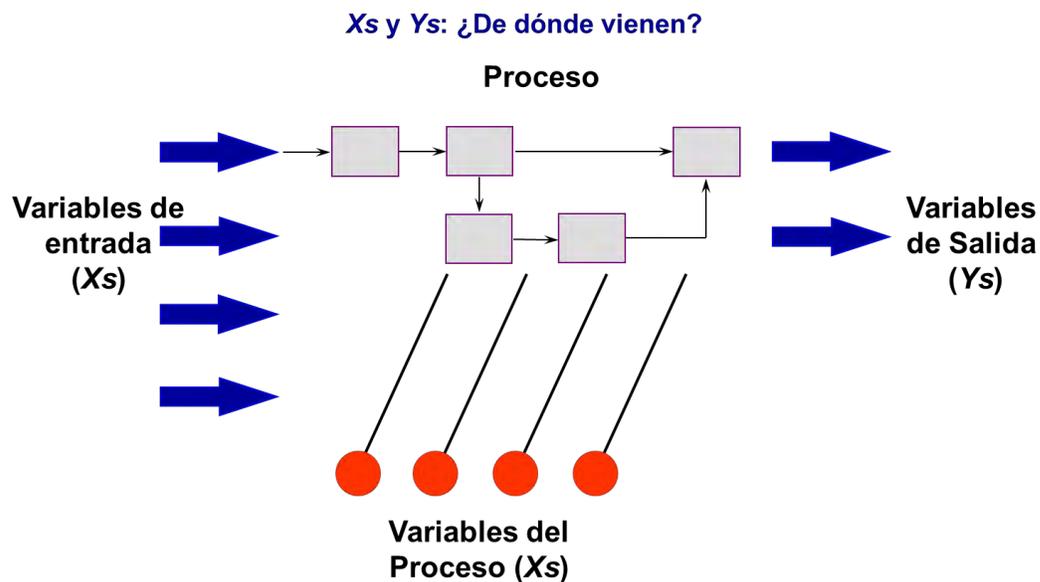


Figura 2.11 Descripción gráfica de un Proceso y sus variables medibles  
Fuente: Generada con información (George, 2007)

Utilizando indicadores estadísticos de variación como desviación estándar, rangos y factores de estabilidad o de tendencia central como la media, mediana y cuartiles ( $Q1$

y Q3), se podrá entender qué variables  $X_s$  conducen a la variación de la variable de medida  $Y$ .

Una vez que el análisis de datos ha sido completado y se han identificado los procedimientos con medias similares y diferencia en las variaciones, se deben mapear los subprocesos de los flujos revisados, con el objetivo de identificar en dónde ocurren las diferencias de variación.

El propósito del análisis del mapeo de procesos es ver los pasos y el desempeño desde la perspectiva del cliente, identificando los problemas y oportunidades actuales del flujo, así como crear un sentido de urgencia para mejorarlo, identificando y documentando las actividades que agregan y no agregan valor y las medidas de los pasos del flujo del procedimiento y sus características.

Las actividades que no agregan valor son los pasos considerados “no esenciales” para producir o entregar un producto o servicio para satisfacer las necesidades y requerimientos del cliente y además, el cliente no está dispuesto a pagar por ello. Entre esas actividades no esenciales se encuentran al menos ocho formas de desperdicio (George, Rowlands, & Price, 2007) o que no agregan valor: defectos, sobreproducción, transportación, esperas, inventario, movimientos e intelecto desperdiciado (sugerencias de los empleados, entrenamiento, falta de procedimientos de mejora continua).

Después de haber realizado el análisis de sistema y el análisis de datos, se verifica la causa raíz primaria obtenida del análisis. Si fuera necesario, habría que revisar la carta de proyecto en donde se definió el problema, el estado actual y el objetivo del proyecto.

Para poder validar la causa raíz, se realizará un análisis estadístico para probar la hipótesis generada por la causa raíz, es decir, se determinará si las diferencias observadas entre dos o más muestras de datos se deben a una aleatoriedad o son diferencias verdaderas en las muestras.

El cometido de esta fase es cuantificar los beneficios monetarios para conocer el impacto que conlleva mantener la causa raíz del problema y así sustentar un proyecto

de retorno de inversión y de análisis costo-beneficio, en donde los beneficios esperados se compensan contra los costos de implementar la solución.

#### 2.3.4 FASE MEJORAR

En la Fase Mejorar (George, Rowlands, & Price, 2007), para el desarrollo de las soluciones existe un camino que funciona para obtener las mejores:

- Generar ideas para mejores soluciones a través de una “*lluvia de ideas*” y diseño de experimentos;
- Proyectar soluciones potenciales con una gráfica de Pareto para identificar la que tiene mayor influencia en la solución del problema;
- Enlistar soluciones aceptables;
- Definir soluciones (a partir de la construcción de ideas);
- Priorizar soluciones similares;
- Obtener las soluciones más importantes.

Utilizando el Diseño de Experimentos permitirá identificar la causa raíz en una combinación de factores y problemas del sistema para interpretar qué variable es la que tiene mayor impacto como solución. Esto se realiza a través de un modelo empírico con base en datos estadísticos para determinar el flujo óptimo o con ajustes en el diseño del proceso utilizando una serie de diseños experimentales para reducir las posibles opciones de mejora en el flujo o diseño de producto de acuerdo a los requerimientos identificados en el análisis del proceso.

Existen otro tipo de herramientas para la mejora de procesos más avanzadas (Pyzdek & Keller, 2010) como:

- Administración Visual (Despliegue y Control Visual);
- Producción Visual (métricas y controles);
- Orden y Limpieza (5S);
- Simulación;

- Trabajo estandarizado (tiempo de procesamiento, secuencia de trabajo, trabajo en flujo estandarizado y *layout* o diseño de planta);
- *Poka Yoke* o “a prueba de errores”.

Evaluar y probar las soluciones en una serie de actividades iterativas para entregar el diseño de un procedimiento robusto. El mapa “cómo debería ser”, es un mapa de proceso mejorado que debe ser documentado con nuevos procedimientos que se definirán en la fase de Controlar, con los cambios en el flujo como resultado de la solución potencial. A continuación, se explicarán tres tipos de soluciones para analizar el problema:

- Análisis de Modo y Efecto de Falla, es una herramienta para identificar y evaluar las posibles fallas del proceso o producto y los riesgos asociados que conlleva.
- Diseño de Experimentos (DOE): el diseño de experimentos es un método estructurado y organizado para determinar la relación entre factores ( $Xs$ ) afectando el sistema y la salida del flujo del sistema ( $Y$ ).
- Pruebas piloto: es una prueba total o parcial de una solución propuesta en menor escala con el objetivo de lograr un mejor entendimiento del efecto y conocer acerca de cómo lograr la implementación a mayor escala de forma más efectiva.

Además, en la fase de Mejorar se obtienen los datos que se necesitan para realizar el análisis Costo-Beneficio de la mejora de la solución y se puede validar con el área de Finanzas de la empresa para comprobar que este beneficio se verá reflejado en los resultados financieros. Es importante enfocarse en los costos directos y beneficios directos, considerando las actividades afectadas por la implementación del proyecto y determinar la variable apropiada de medición.

En todos los casos, los proyectos de mejora podrán reducir costos o incrementar las ganancias, así como mejorar la calidad, y al cuantificar estos datos, tendrán mayor relevancia al mostrar la implementación del proyecto para calcular los beneficios a partir del cierre de la fase de Controlar.

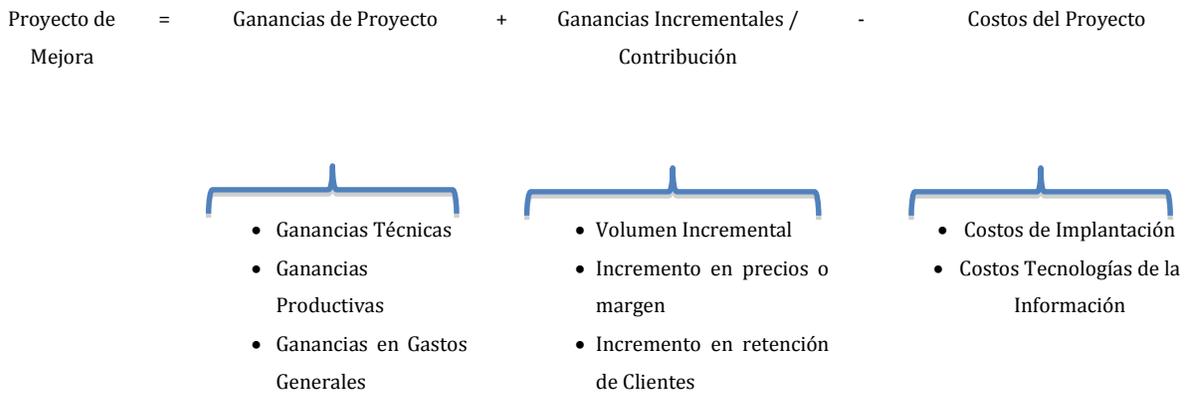


Figura 2.12 Ecuación utilizada en las empresas para proyectos DMAIC  
Elaboración propia con información de Pyzdek & Keller (2010)

### 2.3.5 FASE CONTROLAR

La fase Controlar, consiste en preparar la documentación del nuevo procedimiento, implementar la solución de manera general y el cierre del proyecto (George, Rowlands, & Price, 2007).

La documentación del nuevo flujo, se debe realizar de acuerdo con una serie de actividades que mantengan el desempeño del nuevo proceso al nivel que satisfaga las necesidades de los clientes en términos de eficiencia y efectividad.

En este documento se describe la operación y estructura organizacional, así como las actividades específicas para la correcta operación de cada actividad del sistema, considerando la diversidad en los tipos de operación y actividades dentro de la cadena de suministro desde el inicio al fin del procedimiento.

Normalmente, un documento como estos contiene una Introducción, que describe la importancia de las operaciones e induce a su contenido. Incluye un Objetivo que determina la finalidad del documento y el Alcance de la aplicabilidad. Se incluyen secciones como Lineamientos y Desarrollo describiendo de manera integral el funcionamiento de la organización y su estructura, además se incluye un Glosario y Anexos de apoyo que complementan el entendimiento de su contenido (Manual de Procedimientos, 2016). Es importante definir un plan de control o tablero de indicadores (máximo 6-8) para medir el desempeño del flujo. En este plan de control debe establecerse la Documentación, el Monitoreo y el plan de Respuesta en caso de que existan desviaciones en el nuevo proceso.

La Documentación es necesaria para asegurar que los conocimientos obtenidos en la mejora son compartidos con la organización y se establecen como una forma de trabajo.

El Monitoreo se establece recolectando los datos correctos y utilizándolos de acuerdo con el análisis requerido con gráficas de control para tomar una acción y mantener una consistencia en el comportamiento de los datos con respecto a cualquier cambio en el flujo por causas comunes o especiales para conocer la variación a través del tiempo, asegurar la efectividad de los cambios y comunicar el desempeño del proceso como se muestra en la figura 2.13

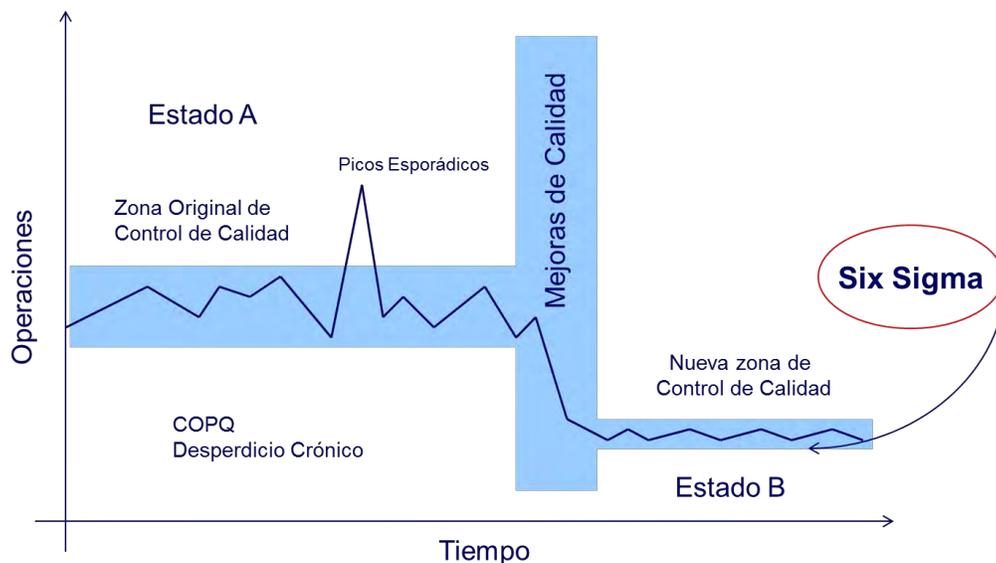


Figura 2.13 Trilogía de Juran  
Fuente: Generada con información de George et al. (2007)

Es importante realizar auditorías periódicas para la recolección de datos y asegurarse de que los datos se comportan correctamente, esta actividad debe documentarse en el plan de control.

Para saber si se cumple con las especificaciones del cliente, en las gráficas de control se colocan los límites de especificación superior e inferior acordados con la voz del cliente. En las gráficas de control se calculan además los límites de control que se obtienen de los datos del flujo y a esta variación se le conoce como la “voz del proceso”, por lo tanto, es importante usar las gráficas de control para entender su comportamiento.

Dentro del plan de control, debe existir un plan de respuesta como un método documentado en el actuar del dueño del procedimiento y que debe responder a cualquier condición fuera de control que pudiera ocurrir en el flujo, que incluya acciones, tiempo de respuesta y responsable para cualquier cambio requerido. Algunas herramientas que se utilizaron en la fase Mejorar pueden aplicarse en esta fase para conocer las causas especiales como *Poka Yokes*, Diseño robusto del proceso y el Análisis Modo y Efecto de Falla para asegurar encontrar la causa raíz.

Los elementos para lograr un buen plan de implementación son:

<b>Fase Mejorar</b>	<b>Fase Controlar</b>
✓ Objetivos claros	✓ Plan de Control – incluir plan de respuesta
✓ Incorporar el aprendizaje	✓ Procedimiento de documentación
✓ Entregables	✓ Flujo de revisión y tablero de control
✓ Recursos necesarios	✓ Desarrollo de personal y entrenamiento
✓ Presupuesto	✓ Actualizar roles y responsabilidades
✓ Influir en la estrategia	✓ Entregar los cambios al dueño del proceso

Figura 2.14 Tabla para el plan de implementación  
Fuente: Elaboración propia con información de George et al. (2007)

En principio, se deben identificar los recursos como personal (equipo de trabajo y patrocinadores), presupuesto (fondos monetarios) y tiempo para lograr una estrategia que influya en la organización. El personal será importante para la ejecución del cambio que se realizará en el trabajo así como la aceptación de las nuevas reglas como los métodos de trabajo, estándares de trabajo e indicadores de desempeño. El involucramiento del personal será importante para la ejecución del nuevo procedimiento y el apoyo de los patrocinadores para que empujen el cambio de manera ágil y asertiva, basado en un plan de trabajo para que las fechas de implementación de las mejoras se lleven a cabo sin retrasos y con responsables asignados.

El resultado del proyecto debe ser documentado y se debe crear también un plan de comunicación para informar los cambios realizados en flujo y los logros reflejados en los resultados de la compañía.

En la documentación del proyecto se registran los aspectos más importantes en un proyecto DMAIC, el sentido de los cambios realizados en el proceso y los beneficios que el proyecto obtuvo con la implementación de la metodología. Esta documentación servirá como recurso y guía para otros empleados que se beneficiarán de los resultados del proyecto y además servirá como soporte en el esfuerzo por comunicar las lecciones aprendidas a toda la compañía y se registrarán los beneficios monetarios y de calidad obtenidos como resultado de la ejecución del proyecto.

Es importante tomar en cuenta que antes de transferir los cambios del proyecto al dueño del proceso, se debe trabajar en el liderazgo en el plan de control, la comunicación de los nuevos roles y responsabilidades, así como los reportes de los tableros de control como consecuencia de las mediciones llevadas a cabo y se requiere tener en cuenta la periodicidad en la revisión del comportamiento de los datos. El entrenamiento será indispensable para que los miembros del área que controlarán el nuevo procedimiento entiendan su variación y que los cambios que sean necesarios deben ejecutarse de manera rápida y efectiva.

#### 2.4 PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SIX SIGMA

La recomendación de utilizar la metodología de *Six Sigma* se debe a que después de tres décadas de haber sido aplicada en las empresas de manufactura y servicios, existe una base sólida como resultado de años de investigación en la mejora de procesos que involucra el desarrollo exitoso de las empresas enfocándose en conceptos de alto nivel en el desarrollo de negocios. Las actividades y sistemas requeridos para una implementación exitosa de *Six Sigma* están bien documentados (Pyzdek & Keller, 2010), y son:

1. Liderazgo. Es el rol necesario para crear una visión de éxito de *Six Sigma* y comunicar una visión clara, consistente y repetida en la organización.
2. Infraestructura. Utilizando el nuevo conocimiento, líderes con experiencia se involucran en el entrenamiento y desarrollo de áreas o departamentos de proyectos para administrar y soportar la metodología de *Six Sigma*.
3. Comunicación y compromiso. La organización debe cultivar y transmitir un ambiente de cambio capaz de lograr innovación y creatividad en el desarrollo de proyectos por parte de los empleados enfocados en la mejora continua.
4. Sistema de retroalimentación de participantes. Con el objetivo de desarrollar una comunicación más cercana con clientes, empleados y proveedores con herramientas como encuestas, visitas a clientes, llamadas telefónicas, sistema de quejas, discusiones de grupo para evaluar clientes, dueños del sistema, empleados y proveedores.
5. Sistemas de retroalimentación de Procesos. Un esquema de procedimientos de mejora continua es desarrollado a través de un sistema de indicadores que monitoree el progreso y el éxito alineado a los objetivos estratégicos del negocio y flujos clave.
6. Selección del proyecto. Los proyectos de *Six Sigma* son propuestos para mejorar los sistemas de negocio por personas con conocimiento de las actividades clave en los diferentes niveles y los proyectos son seleccionados basados en un protocolo de una gerencia con experiencia para lograr el mejor desempeño de las metas establecidas del negocio relacionados con medir los resultados financieros.
7. Desarrollo del proyecto. Los proyectos *Six Sigma* son dirigidos por equipos liderados por el experto en la metodología de mejora continua conocido como Black Belt.

*Six Sigma* es una aplicación del método científico para el diseño de procesos de negocio y la administración de sistemas de operaciones que permite a los empleados entregar el mejor valor a los clientes y accionistas. El método científico trabaja de la siguiente manera:

1. observar algunos aspectos importantes del mercado o del negocio;

2. desarrollar una explicación tentativa o hipótesis, consistente a las observaciones realizadas;
3. basado en la hipótesis, se realizan las predicciones;
4. probar las predicciones por medio de experimentos o continuando con observaciones más detalladas, registrar esas observaciones, modificar las hipótesis basadas en nuevos hechos, si la variación existe, se deben utilizar herramientas estadísticas para separar las posibles causas de ruido o causas especiales;
5. repetir el paso 3 y 4 hasta que no existan discrepancias entre la hipótesis y los resultados de los experimentos u observaciones.

Aplicando el método científico en un periodo (Pyzdek & Keller, 2010), se podrá desarrollar un entendimiento profundo de qué ocasiona debilidad en los clientes o el negocio. Cuando este enfoque se aplica a través de la organización, la influencia política y burocrática es minimizada, prevaleciendo una actitud de mostrar los hechos y datos.

El análisis de capacidad para el modelo de calidad se basa en el desempeño o comportamiento de los datos del proceso establecido por las especificaciones de los clientes en el flujo estudiado y es el que se aplicará en la transportación de carga aérea para este caso, será en dos aspectos fundamentales:

1. En términos de satisfacción de cliente el nivel de sigma en el flujo del procedimiento será de 4, es decir, que al menos 1 de cada 160 clientes no quede conforme con el servicio representando un nivel de satisfacción de 99.4% (Ver Anexo -  $1,000,000/6210 \approx 160$ );
2. De acuerdo con la importancia del negocio y las rutas donde se genera mayor volumen para evitar que existan desviaciones en el proceso.

Para el primero punto, a través de encuestas o un sistema donde se conozca la voz del cliente, los clientes van más allá, no solo se ocupan de saber si el servicio está bien diseñado. También es importante conocer la relación valor-precio, la disponibilidad de los equipos, la frecuencia de las rutas y la confianza de pagar un servicio para que la carga llegue de un punto a otro con el objetivo de lograr clientes satisfechos,

accionistas que se interesen en seguir invirtiendo en el negocio de carga y colaboradores que realizan correctamente las actividades en la organización evitando errores y desperdicios.

El segundo punto busca que *Six Sigma* sea una meta de calidad en los procedimientos, con la ayuda de estadística se logra medir la variación de los procesos. Bajo el supuesto de normalidad, los niveles de calidad de tres sigma en el rendimiento de un procedimiento serían de 93.3%. Si se incrementa el nivel de sigma a seis para un sistema, este requerimiento es el resultado de un buen rendimiento en cualquier flujo. Por lo tanto, si existen fallas en el procedimiento será simplemente que no entra en los límites de especificación de un cliente. Cada paso o actividad de la compañía representa una oportunidad por defecto que ocurra, y los programas de *Six Sigma* buscan reducir la variación en los procesos que llevan a dichos defectos.

La metodología de mejora continua involucra muchas de las herramientas de estadística que han sido empleadas por metodologías de calidad como son histogramas, gráfica de Pareto, gráfica de corridas de datos, gráficas de control entre otras. Para *Six Sigma* el tipo de herramientas que se utilizan son enfocadas al método de proyectos sistemáticos orientados hacia el ciclo DMAIC; similar a la metodología de Deming de cuatro pasos PDCA – Planear, Hacer, Revisar y Actuar bajo el nombre de mejora continua. Para este proyecto de investigación la mejora continua busca el buen estado de los procesos de carga aérea hacia la aplicación de sugerencias y las ideas de equipos de trabajo.

Dicha metodología se enfocará en el flujo de envío de carga aérea y distribución de mercancía en los diferentes destinos con que cuentan las aerolíneas aéreas, entiéndase transporte de mercancías de carga ligera y pesada buscando plantear métodos para generar ahorros considerables y mostrar que la metodología no es sólo aplicable en el área de producción sino en las empresas de servicio, en este caso, aerolíneas de carga.

La finalidad de presentar el marco conceptual y metodológico es el siguiente:

- Orientar la investigación desde un punto de vista basado en las necesidades y requerimientos del cliente marcando esta diferencia con otros estudios:
- Establecer el problema dentro un enfoque de procesos en una serie de pasos que interviene la entrada en el proceso y transforma un servicio que dan valor al cliente;
- Dar confiabilidad en una metodología que tome instrumentos de medición, se analicen los datos y reduzca la variación.

De acuerdo con este marco de referencia y con la situación por la que atraviesan las compañías de carga en México, se enunciará el problema de investigación: “encontrar la relación que existe entre las rutas de origen-destino en donde se presentan los errores o daños, el tipo de aeronave donde se transporta la mercancía y los métodos de trabajo con los que se operan en el proceso de carga”.

Por lo tanto, se refuerza el uso de la metodología de *Six Sigma* para la solución del problema planteado y se reconoce su papel en el objetivo de esta tesis, que como se mencionó en la sección 2.1 fue lograr un impacto financiero con base en un proyecto de mejora con el soporte de la metodología de Six Sigma utilizando herramientas estadísticas para identificar los puntos críticos buscando corregir el manejo y manipulación de los productos evitando el daño durante la transportación de la carga aérea para eliminar cualquier defecto reflejado en el servicio logrando satisfacer las necesidades de los clientes.

En el siguiente capítulo se desarrollará la metodología en un caso de estudio relacionado a la transportación de carga aérea.

### **CAPÍTULO 3: APLICACIÓN DE *SIX SIGMA* PARA DISMINUIR EL DAÑO EN LA CARGA AÉREA**

La finalidad de este capítulo es la siguiente:

- Orientar la investigación desde un punto de vista innovador marcando las posibles diferencias con otros estudios;
- Establecer el problema dentro de un conjunto de definiciones y conocimientos;
- Dar confiabilidad de seleccionar una metodología con instrumentos de medición, pasos en la recolección de datos y la evaluación de resultados.
- Aplicación de la metodología de *Six Sigma* detallando los resultados en cada fase y las herramientas aplicadas en el proceso de negocio de carga aérea en Aeroméxico Cargo para lograr un impacto financiero.

Recordemos que *Six Sigma* es un concepto que mide los procesos en términos de defectos, quienes están enfocados en la mejora continua, están comprometidos con la productividad y la rentabilidad. *Six Sigma*, es una herramienta que genera resultados y está demostrado que aplicarla logra mejoras basadas en el análisis y priorización de las necesidades del cliente.

#### **3.1 DEFINIR: PROBLEMA PRÁCTICO DE NEGOCIO**

El objetivo principal de esta fase fue establecer una base y dirección para el proyecto de mejora. En esta fase, la selección de características de desempeño en el proceso fue importante para conocer las expectativas del cliente que utiliza el servicio de carga aérea.

Los entregables clave en la fase Definir fueron:

- Mapa de proceso SIPOC;
- Características críticas de Calidad CTQs;
- Carta de Proyecto.

En términos prácticos, el cliente fue el destinatario o receptor del servicio (que ha sido transformado en el proceso de carga aérea) siendo importante conocer si sus

necesidades se cumplieron satisfactoriamente. Dentro del proceso logístico existieron clientes internos que fueron aquellos que intervinieron en las actividades del proceso y contribuyeron en la transformación del servicio para entregarlos al cliente final. Los clientes finales fueron quienes pagaron el servicio. En ese sentido, el proceso logró ser capaz de responder a cada conjunto de necesidades.

De acuerdo con el objetivo de investigación que se definió al final del segundo capítulo de “Aplicar la propuesta de un proceso basado en la metodología de *Six Sigma* en el despacho de mercancía de carga aérea para reducir los tiempos de respuesta y los daños ocasionados por el manejo incorrecto de la carga”, desarrollando las siguientes herramientas que nos proporcionaron recursos y entradas de las actividades que producen valor para la fase Definir:

1. Mapa de proceso SIPOC;
2. Características críticas de Calidad CTQs;
3. Carta de Proyecto.

1. Mapa de proceso SIPOC (George, Rowlands, & Price, 2007) elaborado con base en la información del proceso de carga aérea.

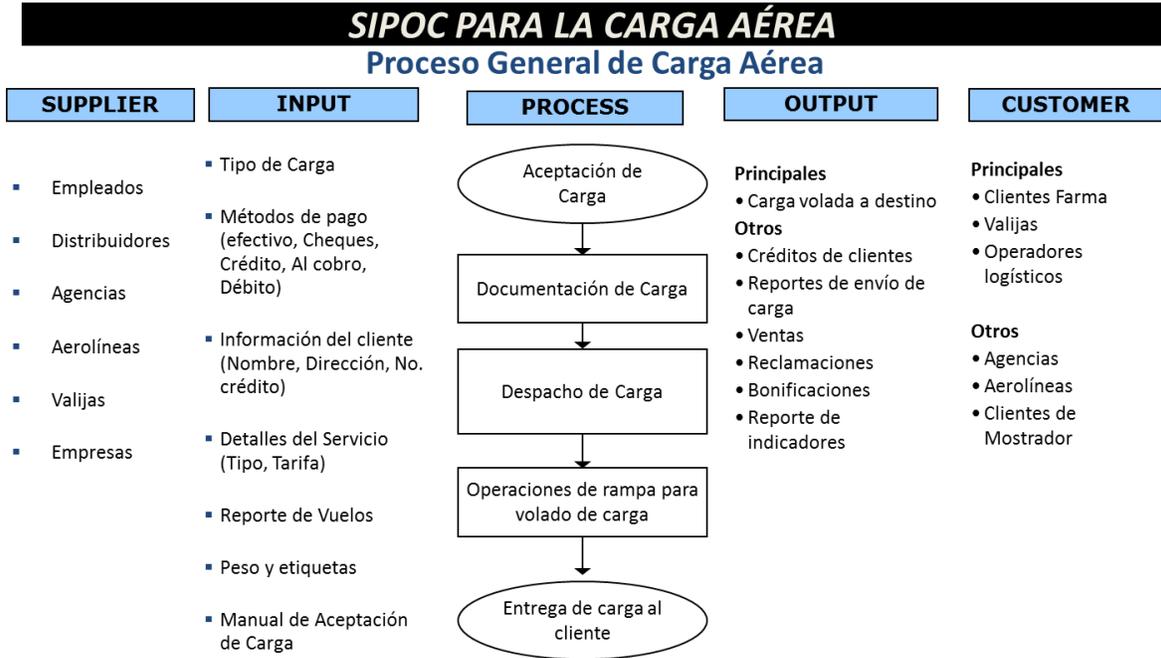


Figura 3.1 SIPOC para la Carga Aérea  
Elaboración propia con información de Aeroméxico Cargo

## 2. Características críticas de Calidad CTQs

- a. Identificación de Clientes en el año 2015 con una venta total de 500 millones de pesos y más de 30 mil toneladas transportadas, se identifican los principales clientes, entre ellos se encuentra los clientes que entregan su carga al mostrador y que representa a nivel nacional el 46% de los ingresos.
- b. Posteriormente seguirían los distribuidores farmacéuticos como Farma 1 y las empresas de paquetería (Paquetera 1, Paquetera 2), Farma 2, Transportador Logístico, Farma 2 y Paquetera3, así como los consolidadores que son compañías que recolectan la carga de varias empresas teniendo espacios preferenciales dentro de la capacidad instalada de la aerolínea para transportar diferentes productos.

Cliente	Peso (Ton)	Ingresos (\$)	% Participación
Mostrador	13,500	\$ 250,000	46%
Farmacéutica 1	3,700	\$ 38,000	7%
Paquetera 1	1,700	\$ 40,000	7%
Paquetera 2	1,650	\$ 37,000	7%
Farmacéutica 2	4,700	\$ 8,900	2%
Transportador Logístico	4,200	\$ 4,050	1%
Carga Logístico	4,100	\$ 4,800	1%
Paquetera 3	4,000	\$ 9,900	2%
Consolidador 1	3,900	\$ 5,000	1%

Tabla 3.1 Segmentación de Clientes por participación de ventas (miles)  
Elaboración propia con información de Aerolíneas de Carga

Con base en la tabla 3.1, si nos enfocamos en la compañía que solicita más servicios aéreos es Farmacéutica 1 siendo el de mayor ingreso generado a la línea aérea. No se tomó en cuenta a los clientes de mostrador porque son más esporádicos y difíciles de rastrear. En cambio, el cliente de Farma 1 ha sido afectado debido a las operaciones realizadas en la carga aérea y quien ha recibido reclamaciones por parte del cliente y que han sido presentadas a la aerolínea, mostrando su preocupación por los daños generados en diferentes ciudades al momento de transportar la carga. La cantidad de

carga dañada en seis destinos es crítica ya que rebasa el 2% considerando que el valor de la mercancía es alto.

Al momento de realizar sesiones de lluvia de ideas con los empleados (4) y con encuestas (50) para los clientes en el mostrador para conocer la voz de este cliente, se mencionó que una de las características críticas de calidad es que la carga no debe ser dañada en la transportación y cuidar que al momento de realizar el despacho de la carga a la pista de los aviones, se realice con sumo cuidado, y cuando esta carga sea recibida por el destino para que se descargue correctamente y se ingrese al almacén se realice sin daño alguno. Otra de las características críticas es que la carga llegue a tiempo a cada uno de los destinos a los que se envían los productos farmacéuticos.

La siguiente tabla ayudó a traducir las necesidades de alto nivel o comentarios individuales, quejas y opiniones en un CTQs.

En la primera columna, se escribieron los comentarios del cliente o las necesidades de alto nivel, es decir, la Voz del Cliente.

En la siguiente columna, se identificó el problema clave que se relaciona con el comentario del cliente. Se definió el problema expresado por el cliente tan claro como fue posible.

En la tercera columna, se interpreta la información que se tiene del cliente (comentarios y problemas de servicio o calidad) en una necesidad específica y medible del cliente. El planteamiento de la necesidad, a pesar de ser específica y medible, no es una característica de salida o CTQ.

Necesidad a un Alto Nivel	Problema	Planteamiento de las necesidades específicas	Características de Salida
No dañar la carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>Existen envíos de carga que al momento de ser transportada a los diferentes destinos nacionales, presentan cajas con producto dañado, roto, lastimado o mojado al</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Existen destinos a donde llegan productos de forma que se dañan y que afectan a los clientes finales.</li> <li>Cada vez que se</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carga en buen estado (No. productos dañados)</li> <li>Manejo correcto de carga (no. casos sin error)</li> </ul>

	momento de entregarla al cliente.	daña la carga se tiene que pagar al cliente final por los daños de la carga.	• Entrega de carga a tiempo (tiempo de entrega vs tiempo acordado)
--	-----------------------------------	--	--

Tabla 3.2 Para plantear el CTQs  
Elaboración propia con información de los requerimientos de clientes (Manual de Procedimientos, 2016)

Como se explicó en el apartado de Metodología de Mejora Continua, se define la Carta de Proyecto, que es un acuerdo entre los miembros del proyecto y el responsable de patrocinar y apoyar el proyecto. Tal como cualquier cambio en los elementos críticos del alcance, objetivos o cronograma, se requiere de la aprobación del patrocinador y el consenso del equipo. La carta de proyecto integra diferentes elementos que se obtienen de preguntas como por qué, cómo, quién y dónde de la situación actual del problema.

Estos son:

- Planteamiento del proyecto;
- Objetivo o propósito del proyecto, incluyendo la necesidad del negocio;
- Alcance;
- Entregables (mediciones clave de éxito que se utilizarán para evaluar la efectividad de los cambios propuestos, se mostrarán más adelante);
- Grupo de patrocinadores o involucrados de la metodología;
- Miembros del equipo;
- Cronograma del proyecto (utilizando diagrama de Gantt o PERT);
- Otros recursos requeridos.

Estos elementos están ampliamente relacionados, es decir, conforme el alcance se incrementa, el tiempo se extenderá y los entregables tardarán en terminarse.

Si el tiempo de ciclo del proyecto incrementa, el costo tangible debido a mano de obra y uso del material también se presentará. Los costos intangibles del proyecto pueden aumentar por la falta de progreso en el proyecto, debido al retiro de recursos

humanos en actividades del proyecto y retraso en la realización de los beneficios del proyecto, por mencionar algunos. Si un proyecto aplicando esta metodología requiere más de seis meses, pierde credibilidad y frustración en el equipo de los programas de *Six Sigma*.

A continuación se generará la Carta de Proyecto:

### Carta de Proyecto

Nombre del Proyecto: Aplicar la propuesta de un proceso basado en la metodología de Mejora Continua (Kai-Zen) en el despacho de mercancía de carga aérea para reducir los tiempos de respuesta y los daños ocasionados por el manejo incorrecto de la carga
<b>Plan de Recursos</b>
Líder de Proyecto: Ing. Emmanuel González Dueño del Proceso: Gerente de Operaciones Patrocinador: Director de Operaciones
<b>Planteamiento del Problema</b>
<i>En los últimos dos años los daños a la carga se han incrementado en 70%, representando hasta el momento 10 millones de pesos reclamados. Esto ha generado quejas e inconformidades en los clientes. Cuando se le preguntó a los clientes su satisfacción con respecto al servicio, los daños en la carga fueron los que sobresalieron como respuesta. El producto que más se ha dañado es el farmacéutico que representa un 7% de los ingresos. Esto afecta negativamente la relación entre los clientes y compromete los ingresos a la compañía.</i>
<b>Planteamiento de la Meta</b>
<i>Reducir los daños (260 casos) a la carga principalmente en los productos farmacéuticos que los distribuidores farmacéuticos entregan para el envío de carga nacional en un 50% en los próximos doce meses.</i>
<b>Oportunidades Estimadas de Negocio</b>
<i>Se ha registrado que el monto reclamado ha sido por 10 millones de pesos en los dos últimos años y la oportunidad estimada es de 3 millones de pesos sin tomar en cuenta la pérdida de clientes y las malas recomendaciones por el servicio ofrecido.</i>

Figura 3.2 Carta de Proyecto Parte 1  
Elaboración propia con información del proyecto de investigación

En la parte 1 de la Carta de proyecto se estableció el planteamiento del problema explicando de manera breve el resultado actual. Se redactó el planteamiento de la meta y las oportunidades del negocio con el objetivo de enfocarse en las actividades del proyecto de *Six Sigma*.

La segunda parte se definió con el apartado “alcance del proyecto” para acotar los límites de lo que se investigó enunciando además las características críticas del cliente.

<p>Proceso principal: Proceso General de Carga</p> <p>No. Proyecto :</p>
<p><b>Miembros del Equipo:</b></p>
<p><i>Operadores de área y coordinadores de procesos de carga aérea.</i></p>
<p><b>Alcance del Proyecto</b></p>
<p><i>El alcance del proyecto será para la carga nacional con los principales clientes que realizan envíos continuamente y que están siendo afectados en las operaciones de manejo de carga a las rutas que se han identificado como las más afectadas.</i></p>
<p><b>CTQ's del Cliente</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Carga en buen estado (No. productos dañados)</li> <li>•Manejo correcto de carga (no. casos sin error)</li> <li>•Entrega de carga a tiempo (tiempo de entrega vs tiempo acordado)</li> </ul>
<p><b>Cronograma de Entregables</b></p>

Figura 3.3 Carta de Proyecto Parte 2  
Elaboración propia con información del proyecto de investigación

Además se definió un cronograma con las fechas compromiso para finalizar los entregables del proyecto con base en los pasos de la metodología de *Six Sigma*.

Pasos Proceso	Abril		Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre			Entregables
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
<b>Definir</b>	[Barra negra]																					Carta de Proyecto Enfoque en Cliente SIPOC
<b>Medir</b>	[Barra negra]																					Recolección Datos Sistema Medición Capacidad Proceso
<b>Analizar</b>	[Barra negra]																					Análisis del Proceso Prueba de Hipótesis Oportunidad Cuantitativa
<b>Mejorar</b>	[Barra negra]																					Soluciones Evaluar Plan Implementación
<b>Controlar</b>	[Barra negra]																					Procedimientos Monitoreo Comunicación

Figura 3.4 Cronograma del Proyecto  
Basado en Pyzdek & Keller (2010)

### 3.2 MEDIR: PROBLEMA EN TÉRMINOS ESTADÍSTICOS

El objetivo de esta fase es recolectar los datos confiables para entender el desempeño del proceso actual. Se debe analizar y entender el proceso de principio a fin desde la perspectiva del cliente, con el objetivo de tener un enfoque desde un punto de vista externo.

Para determinar las acciones requeridas de mejora, se debe considerar reducir la variación del proceso de acuerdo con las especificaciones del cliente con el objetivo de mantener un mejor control de los datos obtenidos en el plan de recolección de datos.

Por lo tanto, para nuestro caso de estudio, se revisará el tiempo total de días para la entrega de mercancía obteniendo los siguientes resultados en la figura 3.5 de los datos de Anexo 2:

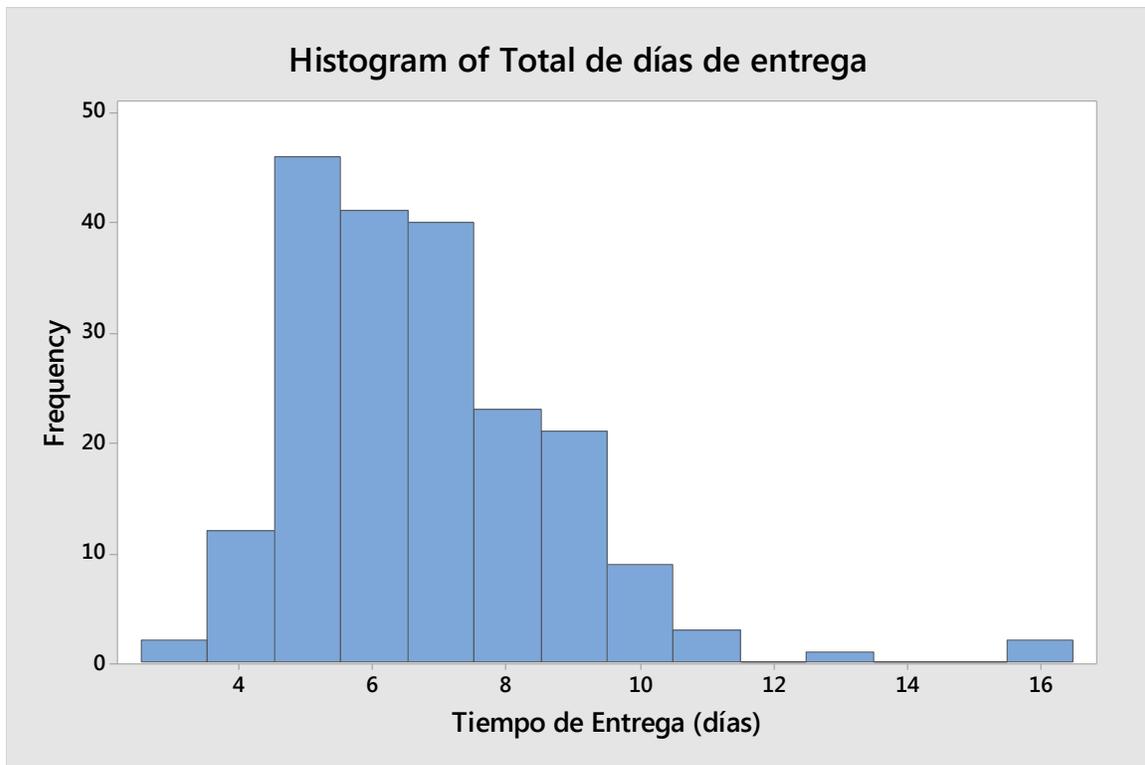


Figura 3.5 Histograma que muestra la frecuencia del tiempo de entrega.  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

El histograma de los días de entrega muestra los datos ligeramente sesgados hacia la derecha, aun así la mayoría de datos se encuentra entre tres y nueve días de respuesta. La muestra se conforma de 200 envíos que se registraron para conocer si llegaban o no en tiempo.

La gráfica de prueba de normalidad es otra forma de plasmar los datos para validar que se distribuyen de manera normal identificando las medidas centrales y de dispersión de los datos.

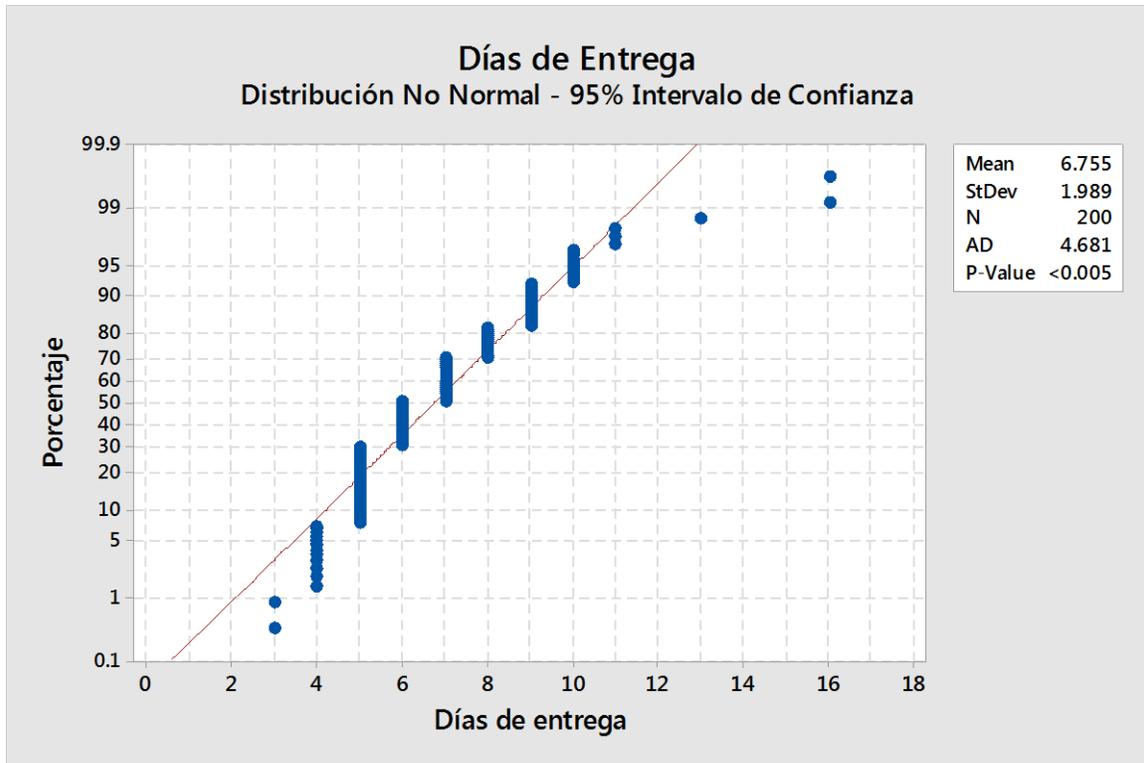


Figura 3.6 Gráfica que muestra la distribución no normal  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

A pesar de que los datos mostrados no están distribuidos de forma normal debido a que el valor de P es menor a 0.05 podemos generar una gráfica para conocer un resumen de los datos estadísticos en donde se muestra el histograma de los datos graficados, una gráfica de caja o *box-plot*, una representación del intervalo de confianza del promedio real y de la media real de la población.

Además, se muestran los valores de la prueba de normalidad de *Anderson-Darling (AD)* mostrada en la gráfica que influye en determinar el valor de probabilidad *p* para saber si los datos son distribuidos de manera normal. Los datos de tendencia central y dispersión, la simetría de la gráfica, la curtosis y los cuartiles de los datos graficados.

Por último, los intervalos de confianza que se utilizan para estimar los parámetros de población de una muestra de datos. Los límites superiores e inferiores de los intervalos para la media, mediana y desviación estándar son mostrados en este resumen.

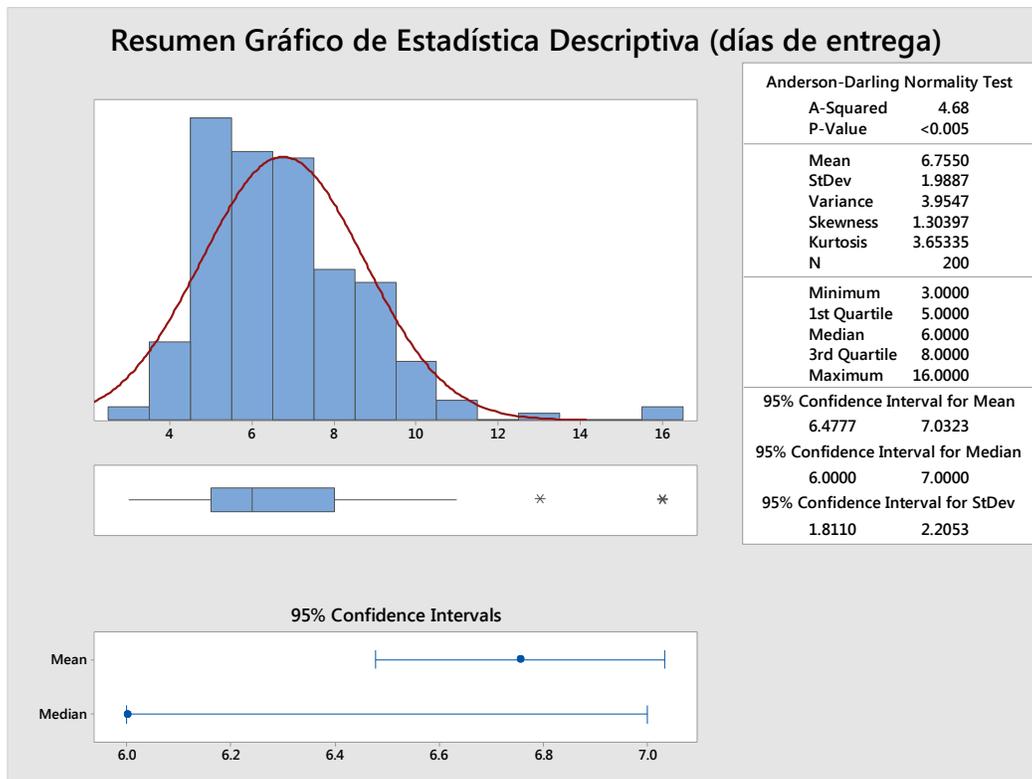


Figura 3.7 Gráfica que muestra Resumen Gráfico  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

Para poder interpretar los datos, el recuadro derecho, de arriba abajo explica lo siguiente:

- A-squared: es la prueba de normalidad Anderson Darling. La A es una estadística que la prueba arroja aunque el valor no es muy informativa, sin embargo se utiliza para determinar el valor de P.
- P-value: Si el valor de P es menor a 0.05 entonces se concluye que los datos no están distribuidos de forma normal.
- Mean o media: es el promedio de la serie de datos obtenidos en la medición.
- Standard Deviation: es la desviación estándar de la serie de datos obtenidos en la medición.
- Varianza: Es la desviación estándar al cuadrado.
- Skewness: Se refiere al sesgo o falta de simetría de la curva de normalidad. Una distribución es sesgada si la cola de la campana se extiende más una que otra y entre más cercano esté el valor a cero indicará que la simetría entre datos; si el

valor es negativo implicará que el sesgo se presente de lado izquierdo y si es positivo el sesgo se presentará de lado derecho.

- Kurtosis: se refiere si existe pico en la distribución de la campana. Si el valor se acerca a cero indica que los datos tienen un pico normal en la campana, si el valor es negativo indica que la distribución es plana que lo normal y si es positiva indica que la distribución tiene un pico mayor al normal.
- N: es el número de datos observados en la serie de datos de la medición.
- Minimum value: es el valor más bajo de los datos observados en la serie de datos de la medición.
- Q1: es el valor del primer cuartil de los datos observados.
- Median: es el valor de la mediana de los datos observados.
- Q3: es el valor del tercer cuartil de los datos observados.
- Maximum value: es el valor más alto observado en la serie de datos de la medición.
- Confidence Intervals (at 95%): son los intervalos de confianza para la media, la desviación estándar y la mediana. Los intervalos de confianza son utilizados para estimar el parámetro de población de la muestra de datos. En este caso, se muestran los límites superior e inferior para cada una de las poblaciones media, desviación estándar y mediana.

Para conocer los datos a través del tiempo, se utiliza una gráfica de corrida de datos para saber si existe variación en el proceso y distinguir si hay patrones en los datos del proceso para identificar las causas comunes o especiales de variación.

En la figura 3.8, se pueden identificar los cuatro síntomas de causas especiales (por grupos, por tendencia, por mezcla y por oscilación).

Si el valor de probabilidad es menor a 0.05 ( $p < 0.05$ ) podemos concluir que está impactado por alguna de estas causas especiales (Minitab, 2010) y no es estadísticamente estable a través del tiempo.

Una mezcla (*mixture*) se caracteriza por la ausencia de puntos cerca de la línea central. Las mezclas a menudo indican datos combinados de dos poblaciones, o dos procesos que operan a diferentes niveles.

Las agrupaciones (*clusters*) pueden indicar variaciones debidas a causas especiales, como problemas de medición o muestras de un grupo de partes defectuoso. Las agrupaciones son grupos de puntos en un área del gráfico.

La oscilación ocurre cuando los datos fluctúan hacia arriba y hacia abajo rápidamente, lo que indica que el proceso no es constante y existe variación entre datos obtenidos al realizar la medición en el proceso.

Una tendencia es una dirección sostenida en los datos, ya sea hacia arriba o hacia abajo. Las tendencias pueden advertir que un proceso está a punto de descontrolarse, y puede deberse a factores tales como herramientas gastadas, una máquina que no mantendrá un ajuste o la rotación de períodos de los operadores.

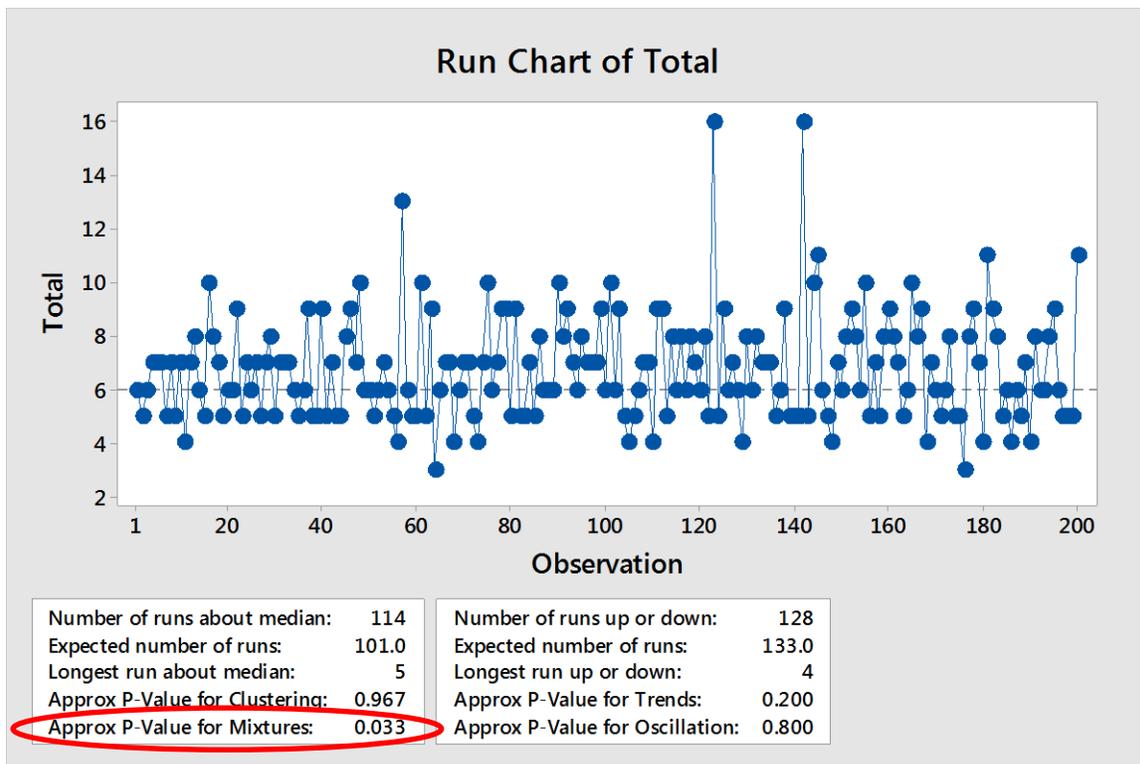


Figura 3.8 Corrida de datos que muestra los cuatro síntomas de causas especiales  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

En esta figura 3.8, existe al menos una combinación en la característica de ausencia de puntos cerca de la línea central lo que concluye que hay al menos una causa especial en los datos graficados del proceso.

Por lo tanto, agrupando los datos para ver si existen una combinación de dos diferentes procesos se realizó un subgrupo de los datos por mercancía farmacéutica y carga general y se presentó una ausencia de puntos de la línea central que se muestra en la figura 3.9.

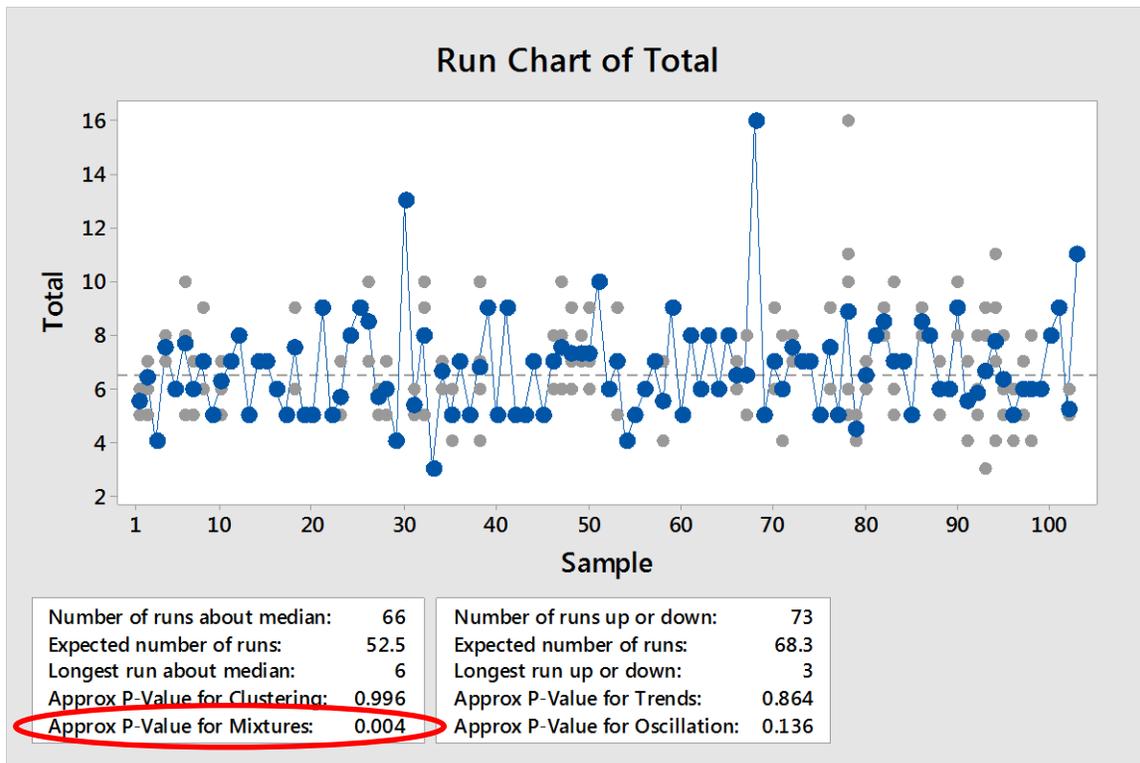


Figura 3.9 Corrida de datos que muestra los cuatro síntomas de causas especiales  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

Para validar la efectividad del sistema de medición con respecto a la repetitividad y reproducibilidad de los datos se utilizó el gráfico de la figura 3.9 que ayuda a calibrar el sistema y que describe el Grupo de Acción para la Industria Automotriz (AIAG), (Pyzdek & Keller, 2010).

La repetitividad se define como la variación del resultado de las medidas obtenidas con un instrumento de medición cuando se utiliza como herramienta de trabajo constantemente por un operador, es decir, herramienta que utiliza cuando mide el mismo objeto, pieza, producto o servicio. La variación obtenida se presenta cuando el

sistema de medición es aplicado repetidamente bajo las mismas condiciones y usualmente causadas por las condiciones inherentes del sistema de medición.

La reproducibilidad es una variación en el promedio del valor de las mediciones realizadas por diferentes operadores, utilizando el mismo instrumento de medición cuando se mide la misma característica de una pieza. Por lo tanto, al realizar el estudio para conocer el tiempo de entrega, se obtuvo los siguientes resultados:

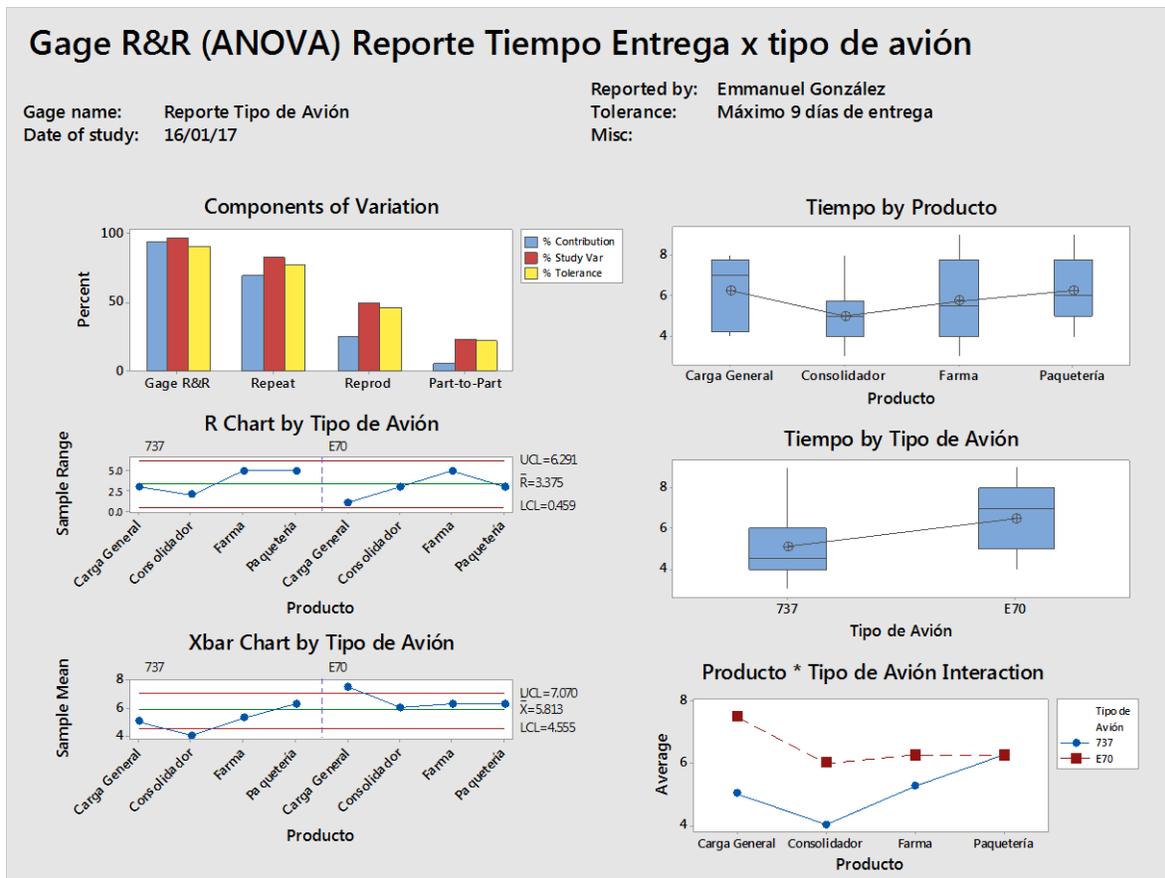


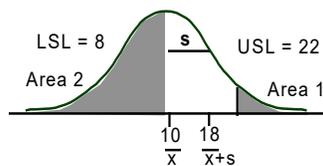
Figura 3.10 Gráfica de calibración para tiempo de entrega por tipo de avión  
 Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

En la figura 3.10 se identifica el tiempo de entrega con dos tipos de aeronave y el tipo de carga que se transporta para conocer si existe el mismo comportamiento entre uno y otro. Sin embargo, si nos centramos en la columna derecha nos da como resultado que para la carga general y con equipos E70 el tiempo de entrega de carga es mayor que con otras aeronaves y con el tipo de carga se presenta en la carga general y farmacéutica. Para los equipos 737 la variación fue menor.

El nivel de sigma en el desempeño del proceso se obtuvo basado en la probabilidad de tener un defecto fuera de los límites de especificación del cliente. Por lo tanto en la figura 3.11 podemos ver que de la muestra obtenida de 200 vuelos, se obtuvo una media de 6.75 días, con una desviación estándar de 1.98 días y un límite de especificación firmado por el cliente de 8 días para la entrega, dando como resultado 2.13 sigma, es decir solo 74% de clientes satisfechos.

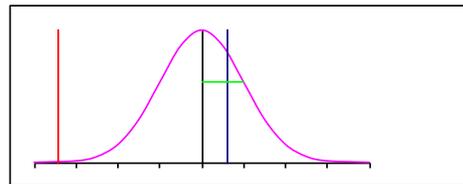
1. Label The Normal Curve With The Following:

Example:



- n X value
- n X+s value
- n USL & Shade Area To The Right
- n LSL & Shade Area To The Left

Enter	
Xbar	6.75
S	1.98
USL	8
LSL	0
	2.13sigma



2. Determine Area 1:

Find  $Z_1$

$$Z_1 = \frac{USL - \bar{x}}{s} = \frac{(8) - (6.75)}{1.98} = 0.631313$$

Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

Look up  $Z_1$  in Normal Table

Norm Dist ( $Z_1$ ) = Normal Table Look Up for  $Z_1$  = 0.736082

Esta gráfica calcula el nivel de sigma del proceso a largo plazo con datos continuos (días de entrega). En el recuadro se colocaron el número de días promedio en entregar, la

3. Skip this step if there is no LSL

desviación estándar en días y el límite superior especificación de los días permitidos por el cliente para ejemplificar en la campaña el límite para la entrega del producto. Con estos resultados en la fase Analizar identificamos cuál fue la causa raíz que originó el retraso en la carga aérea de acuerdo a la hipótesis planteada en saber si existe diferencia significativa entre los días de entrega y el equipo de carga utilizado.

Find  $Z_2$

$$Z_2 = \frac{LSL - \bar{x}}{s} = \frac{(0) - (6.75)}{1.98} = -3.40909$$

Look up  $Z_2$  in Normal Table      Norm Dist ( $Z_2$ ) = Normal Table Look Up for  $Z_2$  = 0.000326

Area 2 = Look Up

Area 2 = 0.000326

4. Determine Total Area:

Total Area = Area 1 + Area 2 = (0.736082) + (0.000326) = 0.736408

5. Yield = Total Area

$$Yield = 1 - Total Area = 1 - (0.263592) = 0.736408$$

= x 100% = 73.6408%

El tipo de gráficas utilizadas en la fase anterior como histogramas, pruebas de normalidad, gráficas de caja y estadística básica contribuye a plantear una hipótesis en las causas raíz que genera la variación en los datos mostrados.

Table Look Up Of Yield

Sigma<sub>ST</sub> = Look Up Value in Sigma Table

2.13

Por lo tanto, se identificaron las causas potenciales para validar la causa raíz y cuantificar la oportunidad de mejora. Para ello, se tomó en cuenta el tiempo de entrega con los datos recolectados de una muestra, a su vez, se realizó el detalle del mapa de proceso para analizar las actividades que agregan valor al cliente y el tiempo de ciclo del flujo operativo dando como resultado un análisis de datos y análisis del procedimiento para validar las causas que generaron el problema actual en la transportación de carga.

A continuación se mostrarán las gráficas que identificaron la causa de los tiempos de entrega tarde.

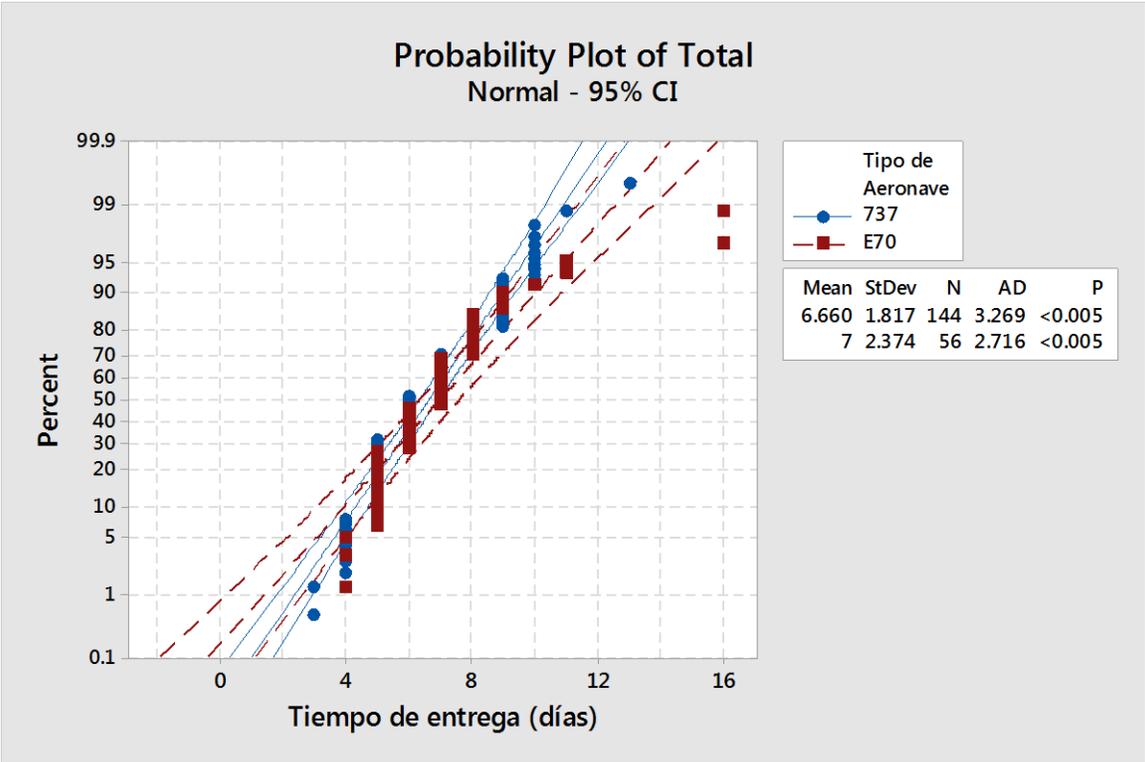


Figura 3.12 Gráfica de Probabilidad  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

El tipo de aeronave E70 y 737 (de cabina angosta usados en vuelos nacionales) tiene el mismo comportamiento para el tiempo de entrega.

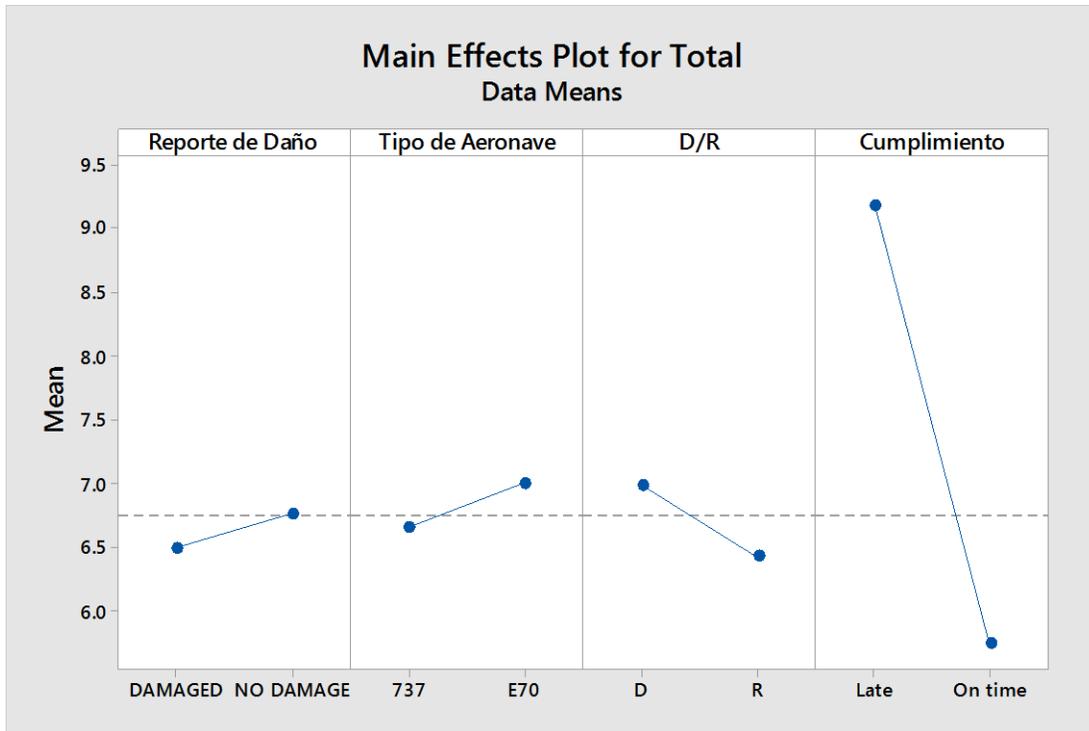


Figura 3.13 Gráfica de Efectos Múltiples  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

El tipo de carga D (Diagnóstico médico) y R (*Regular Cargo*) muestra que existe un tiempo de entrega mayor para D. Los tiempos de entrega marcados como tarde (*Late*) son el resultado del tiempo total del embarque de origen a destino rebasando el límite de especificación de los clientes (8 días). A pesar de ello, el tipo de avión no pareciera afectar el tiempo de entrega, sin embargo existe mayor variación en los equipos E70 como se muestra en la figura 3.14.

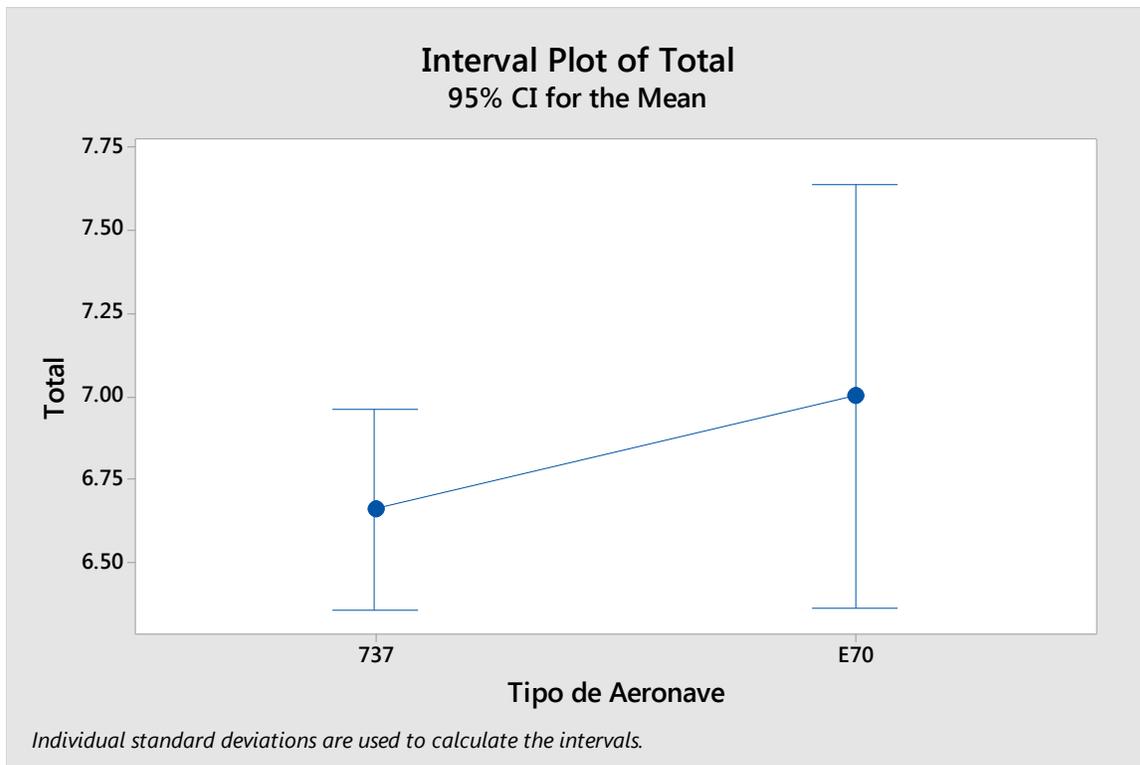


Figura 3.14 Gráfica de Intervalos con desviación estándar  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

Por último, se generó un análisis de regresión para identificar si las variables de entrada están afectando el resultado en la figura 3.15.

Análisis de Varianza					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	678.836	678.836	1242.70	0.000
Error	198	108.159	0.546		
Total	199	786.995			

Figura 3.15 Resultado de Análisis de Varianza en Minitab  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

Existe una fuerte influencia en el despacho de carga afectando el tiempo de entrega al cliente final.

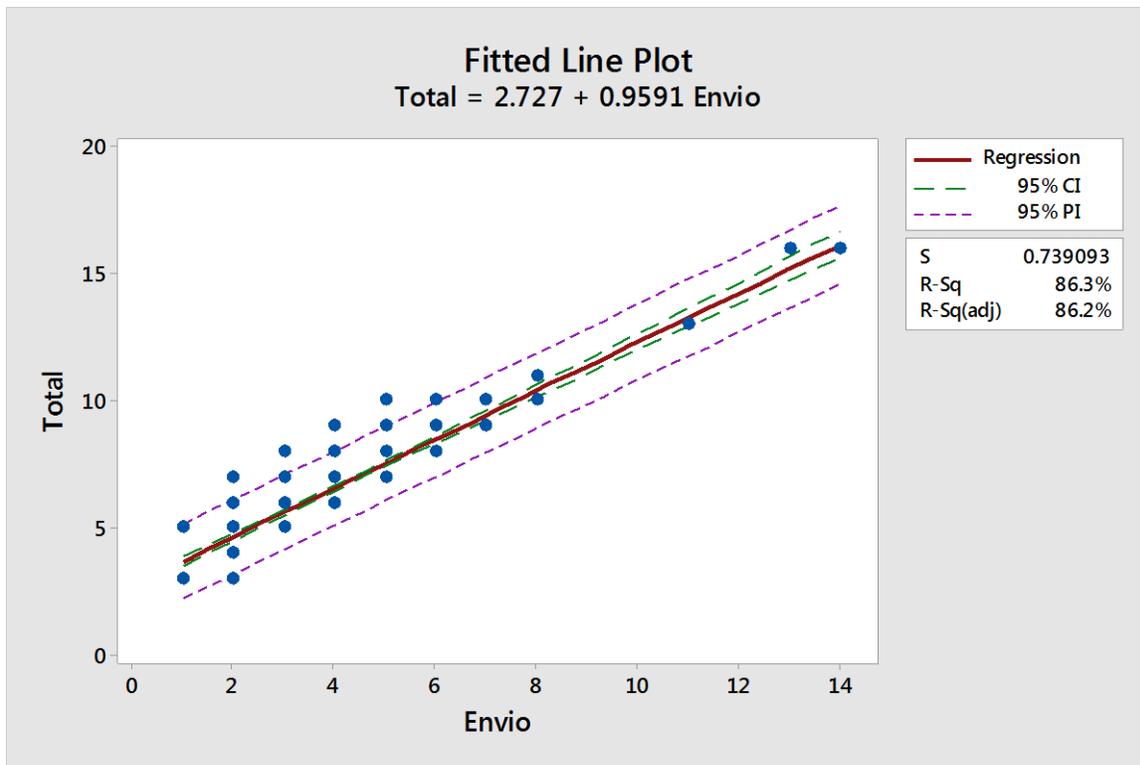


Figura 3.16 Resultado de Análisis de Regresión con gráfica de línea ajustada en Minitab  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

La línea ajustada en la gráfica de la figura 3.16 es la línea de regresión que calcula la relación entre la variable de respuesta ( $Y$ ) y la variable predictora ( $X$ ). Las líneas del Intervalo de Confidencia (CI) proveyeron un rango estimado en que la respuesta de la media para un valor dado del pronóstico espera caer en este intervalo. Las líneas de predicción o pronóstico proveyeron un rango estimado en que una nueva observación o dato dado del pronóstico espera caer en este espacio con el objetivo de alinear y ajustar los datos de la ecuación lineal obtenida en Minitab (2010).

#### 3.4. MEJORAR: SOLUCIÓN PRÁCTICA VINCULADA A LA SOLUCIÓN ESTADÍSTICA

En esta fase, se desarrollará una solución diseñada específicamente para reducir o eliminar el impacto de la causa raíz en la variable de salida para que el proceso sea capaz de cumplir con los CTQ's de los clientes.

Cualquier solución que ha sido seleccionada nos debe llevar a un proceso más exitoso, que cumpla con las necesidades de los clientes que se habían acotado en la fase

Definir. Finalmente, se debe mantener el foco en la causa raíz para reducir el impacto o eliminar por completo la causa que nos lleva a no cumplir con las expectativas del cliente.



Figura 3.17 Mapa de proceso para identificar las actividades que no agregan valor  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

Para ello, se realizó un Diseño de Experimentos que mostrará las variables de influencia y estará relacionado con los tiempos de entrega. En la tabla 3.3, se muestran los resultados:

Tipo Aeronave	Producto	Condiciones	Tiempo Entrega (Días)
E70	Especial	Daño	9
737	Especial	Daño	7
E70	General	Daño	2
737	General	Daño	11
E70	Especial	No daño	3
737	Especial	No daño	4
E70	General	No daño	8
737	General	No daño	9
E70	Especial	Daño	5
737	Especial	Daño	10
E70	General	Daño	9
737	General	Daño	8
E70	Especial	No daño	6
737	Especial	No daño	5
E70	General	No daño	3
737	General	No daño	6
E70	Especial	Daño	13
737	Especial	Daño	10
E70	General	Daño	9

737	General	Daño	8
E70	Especial	No daño	6
737	Especial	No daño	3
E70	General	No daño	7
737	General	No daño	7

Tabla 3.3 Mapa de proceso para identificar las actividades que no agregan valor  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

Los resultados se obtuvieron de las diferentes combinaciones entre tipo de avión, tipo de carga y si hubo daño o no en la carga capturando los días en el tiempo de entrega.

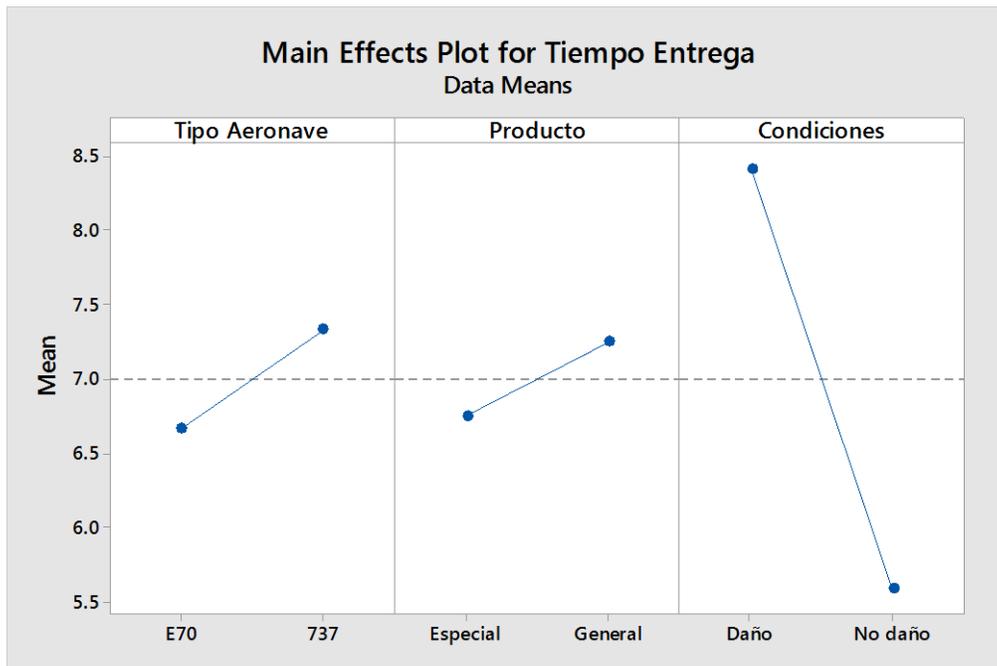


Figura 3.18 Gráfica de Efectos Múltiples  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

Si observamos los resultados de la figura 3.13 validamos que hubo un cambio en las aeronaves E70 a 737 de la figura 3.18 y que el tiempo de entrega aumenta cuando hay un daño en la carga. El daño de la carga se debe a los métodos de trabajo de acuerdo al estudio de Calibración de Reproducibilidad y Repetitividad generado por lo que se recomienda preparar un plan de acción para disminuir los daños de la carga por parte de los trabajadores.

Si graficamos la interacción del tiempo de entrega entre el tipo de aeronave, tipo de carga y las condiciones de la carga, validamos que el resultado el daño en la carga de farma disminuye en el tipo de avión y que el tiempo de respuesta es más ágil cuando no las condiciones de la carga son óptimas como se muestra en la figura 3.19

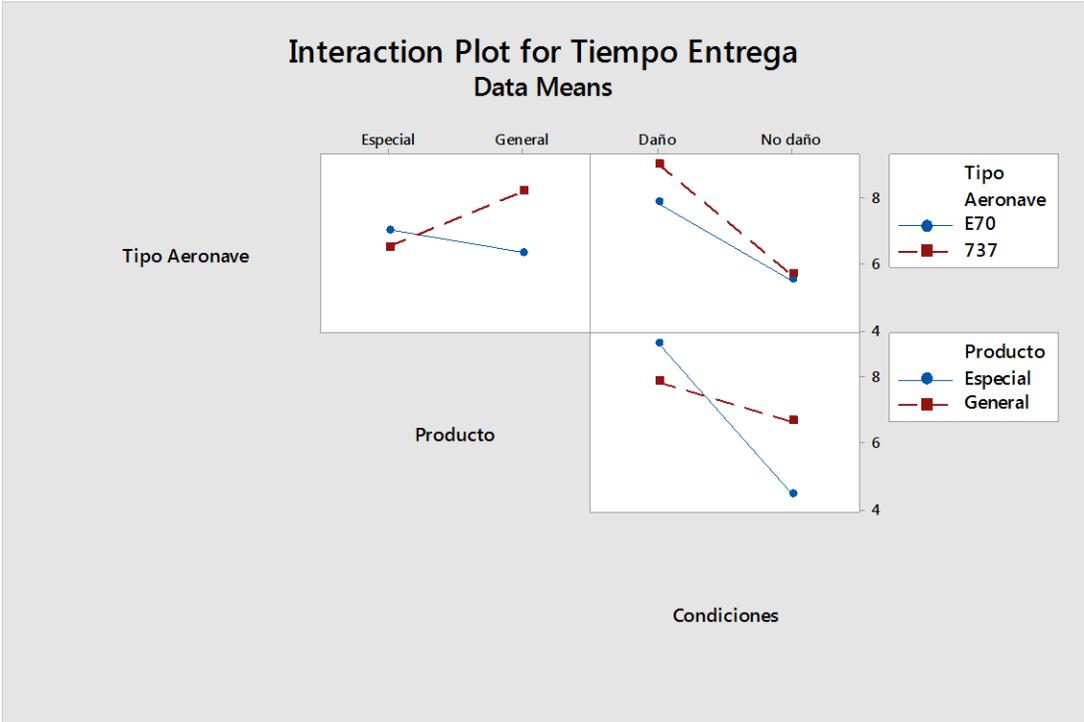


Figura 3.19 Gráfica de Efectos Múltiples  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

Al generar una gráfica de Pareto por variables identificadas como posibles causas raíz, la figura 3.20 nos muestra que el factor de condiciones sigue presentándose debido a que los métodos de trabajo siguen siendo los mismos y se requiere reforzar con una capacitación y supervisión para que los trabajadores eviten el daño en la carga.

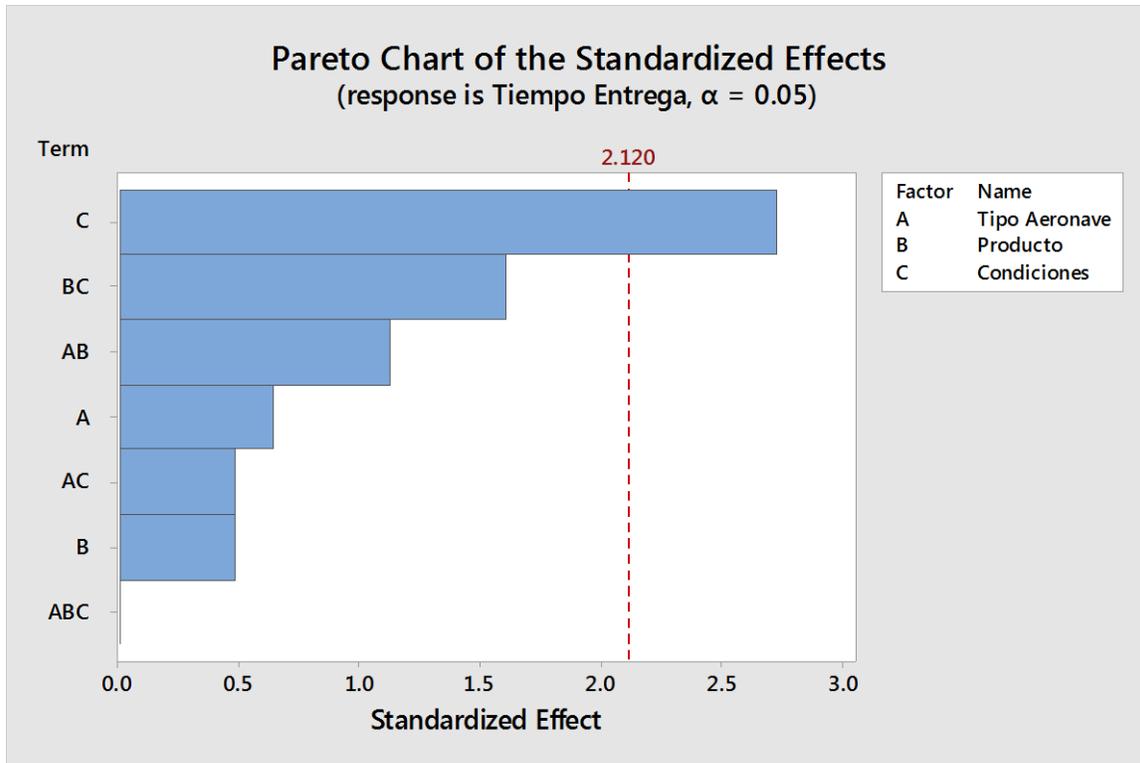


Figura 3.20 Gráfica de Efectos Múltiples  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

Por lo tanto, podemos concluir que una de las variables que afecta el modelo son las condiciones y puede afectar las condiciones con el producto que se transporta como se muestra en la figura 3.21:

Análisis de Varianza

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	78.667	11.2381	1.74	0.170
Linear	3	52.333	17.4444	2.70	0.080
Tipo Aeronave	1	2.667	2.6667	0.41	0.530
Producto	1	1.500	1.5000	0.23	0.636
Condiciones	1	48.167	48.1667	7.46	0.015
2-Way Interactions	3	26.333	8.7778	1.36	0.291
Tipo Aeronave*Producto	1	8.167	8.1667	1.26	0.277
Tipo Aeronave*Condiciones	1	1.500	1.5000	0.23	0.636
Producto*Condiciones	1	16.667	16.6667	2.58	0.128
3-Way Interactions	1	0.000	0.0000	0.00	1.000
Tipo Aeronave*Producto*Condiciones	1	0.000	0.0000	0.00	1.000
Error	16	103.333	6.4583		
Total	23	182.000			

Figura 3.21 Resultados del Diseño de Experimentos  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

Después de haber explicado la fase Mejorar, se propuso cambios en la operación para eliminar las actividades que afectan el manejo de carga que estaban provocando daños y debía la compañía indemnizar a los clientes. Las actividades eliminadas fueron las siguientes:

- Colocar espacios para estibar la carga y no tener que estar moviendo la carga en piso como comúnmente se realizaba.
- Colocar la carga en pallet por destino y colocarlo en los *racks* (anaquel).
- Hacer uso del montacargas y cargar directo al carrito que va a la plataforma donde se encuentra el avión.
- Hacer la manipulación para subir la carga al compartimiento del avión con dos personas para evitar aventar la carga dentro del avión.
- Colocar el material farmacéutico en contenedores de plástico para evitar que los frascos tuvieran algún daño al momento de manipular el producto.
- 

Además, se identificó que en la aplicación de la metodología de *Six Sigma* se requiere aplicar una metodología de orden y limpieza (5 S) como parte de los sistemas visuales para optimizar las actividades de la operación de carga aérea eliminando el doble manejo de carga en almacén y plataforma generando estándares de trabajo para el balanceo de líneas de acuerdo a la demanda de los clientes y capacidades de los aviones para transportar la carga y evitar retrasos en la entrega del producto.

### 3.5 CONTROLAR: SOLUCIÓN EMPRESARIAL PRÁCTICA ADMINISTRADA "ESTADÍSTICAMENTE"

El objetivo de la fase Controlar logró que la mejora se mantuviera a través del tiempo después de haber realizado los cambios en la fase de Mejorar.

En esta fase se documentó la forma de trabajar del personal con nuevos lineamientos para el manejo de carga y monitoreo de los datos a través de estándares establecidos en la documentación del nuevo procedimiento para evitar variaciones en el proceso. Las actividades arriba mencionadas fueron las que se agregaron al procedimiento de Carga Doméstica. Con ello se evitó que se presentaran tendencias en el comportamiento de los datos.

La figura 3.22 que se muestra a continuación se obtuvo del comportamiento actual de los daños antes y después de la mejora. Se puede ver que hay variaciones en el proceso que excedieron los límites de control de la gráfica, sin embargo se puede observar un comportamiento estable dentro de estos límites al final de la gráfica. Si los datos no están controlados, quiere decir que el proceso sigue siendo inestable. En esta figura se marcó un círculo en rojo que muestra los datos del Diseño de Experimentos y como a través del tiempo los puntos rojos disminuyeron al final de la gráfica el tiempo de entrega como resultado del experimento.

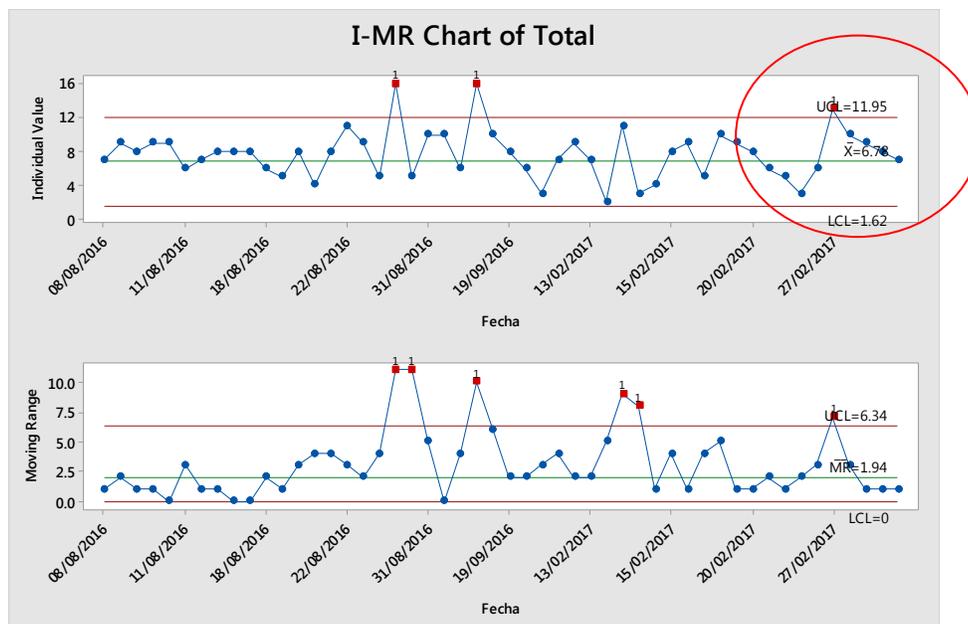


Figura 3.22 Resultados del Diseño de Experimentos en una Gráfica de Control  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

Al momento de generar la gráfica, el comportamiento de los datos presentó algunos puntos que salieron del límite de control y con una variación en los datos respecto a la media. Conforme fueron pasando el tiempo hubo un mejor control de los datos y solo hubo una causa especial que salió de los límites de control.

El objetivo en el futuro será auditar que las mejoras hechas en el proceso no existan daños en la carga o disminuyan y que las gráficas de control sean estables garantizando al cliente que sus requerimientos se cumplan.

Realizando un pronóstico con datos del diseño de experimentos se realizó una corrida de los datos con la ecuación lineal y este fue el resultado mostrado en la figura 3.23.

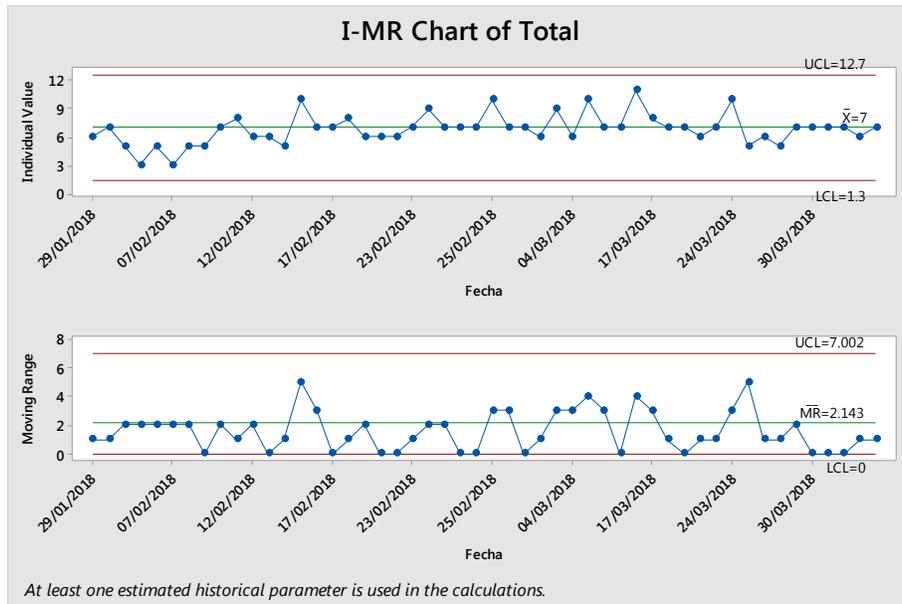


Figura 3.23 Gráfica de Control de los tiempos de respuesta para la entrega de carga sin daños  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2016)

Con los datos mostrados en la gráfica se observa que existe un mejor control y menor variación contra la media garantizando con ello que el proceso es más estable y cumplir con la promesa de entrega al cliente.

Variables	Antes	Después
Disminuir los tiempos de entrega de los productos	<p>The 'Antes' chart shows a wide spread of data points with several points exceeding the UCL of 12.68. The central line is at <math>\bar{X}=6.75</math> and the LCL is at 0.83. The y-axis ranges from 0 to 16.</p>	<p>The 'Después' chart shows a much tighter distribution of data points, with most falling within the UCL of 10.621 and LCL of 2.029. The central line is at <math>\bar{X}=6.325</math>. The y-axis ranges from 2 to 11.</p>

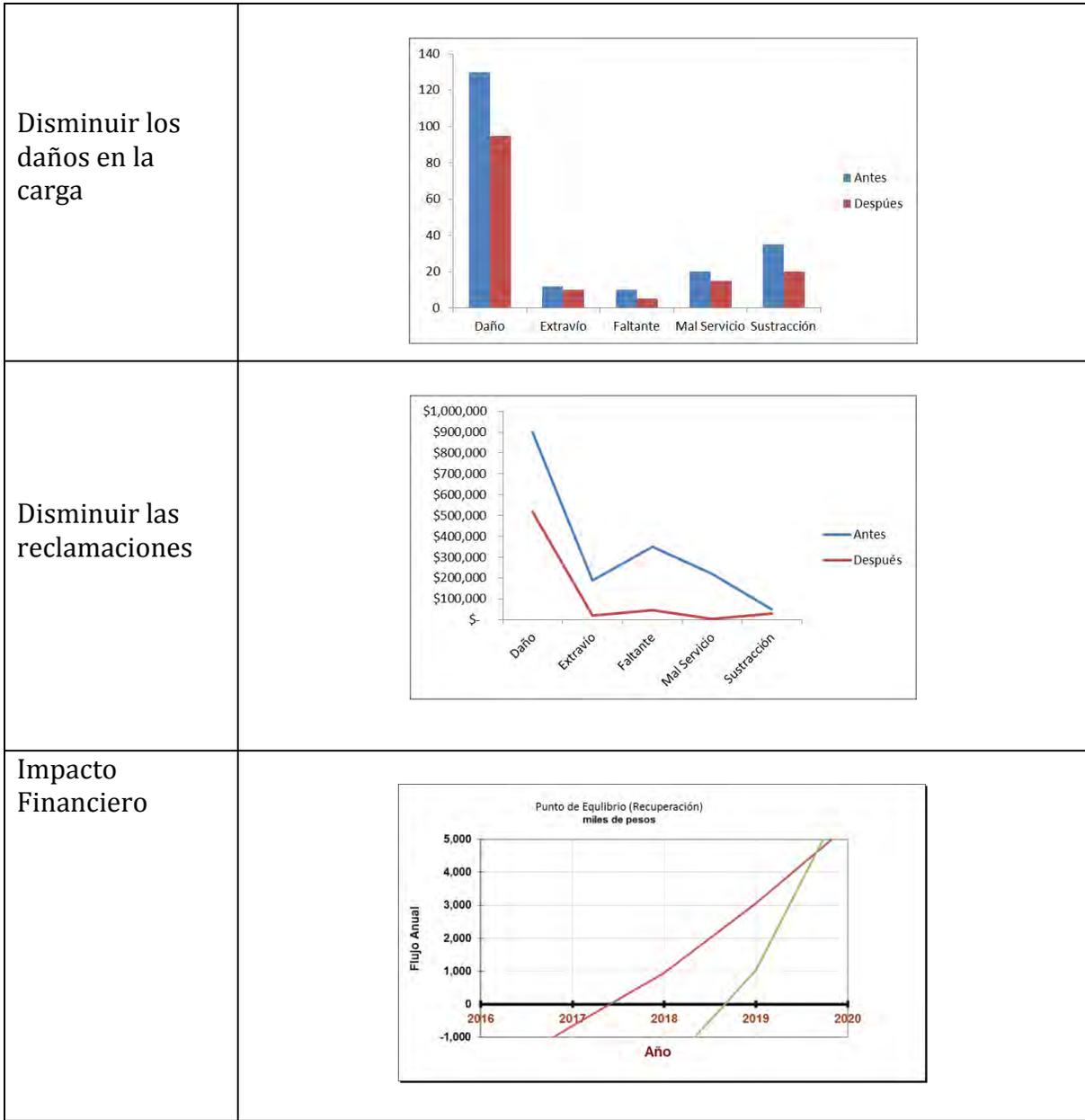


Figura 3.24 Análisis de Resultados  
Elaboración propia con información de Aeromexico Cargo (2017)

La aplicación de la técnica basada en la metodología de *Six Sigma* explica el antes y después del proceso mejorado y conociendo las necesidades del cliente, se utilizan herramientas para identificar las causas raíz, aplicar métodos de estadística inferencial y cerrar el proyecto con métodos de control para mantener la variación estable de los procesos.

En estas gráficas podemos ver la mejora que hubo en la variación del proceso en los días de entrega logrando una mejor consistencia en los datos mostrados en la gráfica. Por un lado, los tiempos de entrega no presentaron variaciones y se tuvo un control en los datos medidos sin que sobrepasara los límites permitidos. Además, se redujo el número de daños, la sustracción y ligeramente el extravío y mal servicio con la implementación del manejo correcto de la estiba y manipulación de la carga en el almacén y en el compartimento del avión. Por lo tanto, la reducción en el monto de indemnización por reclamación se vio reflejada con los cambios realizados en el proceso.

El objetivo de lograr una reducción del 50% fue parcial y no se llegó al objetivo sin embargo hubo una mejora en el monto de indemnización de casi la mitad de lo comprometido, que logrará un impacto financiero para recuperar la inversión a 3.5 años aproximadamente para recuperar la inversión con las mejoras realizadas.

Las referencias mostradas en este documento permitirán al lector profundizar más acerca de la metodología, hacer uso de otras herramientas que se acoplen al tipo de industria y dependiendo del tipo de datos que se obtendrán del plan de recolección, las herramientas estadísticas utilizadas para su interpretación de resultados.

## CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES

Entregar los resultados cuando se logra una mejora en cualquier proceso analizado no es el final, es el principio para generar un cambio. Planificar, diseñar y luego dar operatividad a un nuevo proceso de trabajo requiere de un esfuerzo mayor para cambiar los paradigmas del equipo de trabajo, para construir una forma de realizar el trabajo de manera práctica, sin errores y sin necesidad de realizar retrabajos, buscando generar beneficios significativos en el rendimiento del proceso y de la compañía.

La mejora debe ser continua y debe innovar los procesos cada vez que sea posible, con el objetivo de ser más eficientes, más ágiles y generar menores costos en la operación. Con los resultados obtenidos, se comprobó que el uso de la estadística funciona como una potencial herramienta a identificar el comportamiento de los procesos. Existe un área de oportunidad en el mercado ya que son pocas las empresas en este país que la utilizan sobre todo en las posiciones estratégicas de la organización con el objetivo de tener patrocinadores que empujen el uso de programas de mejora como la metodología de *Six Sigma*. En caso de que las empresas opten por el uso de estas herramientas deben permearse en las actividades de la organización a través de los empleados lograrán un cambio en la cultura organizacional.

Con la herramientas de mejora se identificaron las causas raíz logrando una solución práctica en el caso de estudio, aplicando la mejora continua para disminuir los daños en un 27% en un periodo de 6 meses en el proceso de carga aérea que es el tiempo aproximado que un proyecto de Six Sigma tiene para finalizar, manteniendo el tiempo de respuesta en el flujo del servicio controlado y disminuyendo la variación entre guías transportadas y la disminución de más del 40% en el pago por daño en la carga reflejado en los costos operativos al evitar el pago de eventos por indemnización de daño. La recuperación de la inversión no será en el primer año, si no está calculada para recuperarla cerca del cuarto año. Además, se realizó una encuesta que no se muestra en el documento debido a que la información fue confidencial para medir

nuevamente el nivel de servicio en el transporte de carga aérea y los resultados se vieron reflejados en la satisfacción del cliente por el servicio de transportación adquirido cumpliendo con sus expectativas para retener a los clientes y que estos recomienden este modo de transporte.

Dentro de los hallazgos obtenidos en la aplicación de la metodología es que con la ayuda de la estadística descriptiva e inferencial se cumple con uno de los objetivos de la metodología: identificar la causa raíz por la cual existen daños en la carga para enfocarse en resolver el problema en áreas específicas de la operación como se muestra en la página 83.

Los resultados obtenidos después de aplicar la metodología muestran el comportamiento de los datos en un antes y después. El uso de inferencia estadística a través de un análisis de regresión muestra la correlación de los datos de las variables de entrada con las de la salida  $Y = f(x_1, \dots, x_n)$ .

Además, con la ayuda de las herramientas para hacer un análisis de medición de datos y herramientas para el plan de control de datos permite al área de carga llevar un record del comportamiento de datos y de manera proactiva identifica cualquier desviación en la variación del proceso para reaccionar de inmediato al momento que se presente una falla para corregirla y evitar que los clientes comiencen a recibir la carga con daños y nuevamente que los tiempos de respuesta se incrementen.

A pesar de que esta es una solución a un problema, se puede replicar la metodología a otras áreas de carga y empresas logísticas. Buscando eliminar los defectos en el proceso y documentando los ahorros generados de los costos de pobre calidad se puede invertir en otros proyectos que ayuden a mejorar la productividad de la empresa como la optimización de tiempos de carga y descarga con ayuda de bandas transportadoras en los almacenes y en plataforma para disminuir cuando se realice la manipulación de la carga en el compartimiento del avión.

Por el tamaño de operaciones que se realizarán a partir del nuevo aeropuerto, la demanda y las necesidades de las compañías aéreas aumentarán con la operación para suministrar a los sitios de manufactura y de servicios de insumos y productos provenientes del interior del país y del resto del mundo hacia ciudades como Puebla, Pachuca y Querétaro por la autopista del Arco Norte.

Será importante mencionar que si las aerolíneas detectan que sus clientes tienen días de inventario altos, tiempo de respuestas de entrega altos, tiempo de ciclo mayor al de la competencia, las operaciones de carga aérea disminuirán en el tiempo de respuesta de sus clientes y el inventario excesivo de sus productos, con ello los servicios de este modo de transporte podrán venderse como una oportunidad para que las empresas utilicen este tipo de servicios.

Así es como Dell lo realiza, solicitando a sus proveedores que les entreguen en 90 minutos en sus centros de manufactura, prácticamente los clientes deberían estar solicitando a las aerolíneas u operadores logísticos, cuales son los requerimientos de los pedidos y el tiempo de respuesta para embarcarlo y entregarlo en destino.

La oportunidad de tener una mejor infraestructura es a través del uso de tecnología que facilite el rastreo de la carga como el uso de RFID (*dataloggers*) que son identificadores de radiofrecuencia (Blanchard, 2007) principalmente en el uso de productos farmacéuticos como vacunas. Así como el uso de empaques para la protección del producto en contenedores de plástico, de unicel con refrigerante o aislante para productos farmacéuticos, industria química y de alimentos y bebidas. Con este tipo de controles se puede mitigar el daño, el rastreo de la carga y el control de la operación.

Las metodologías de mejora continua, como *Six Sigma*, retan el *status quo* buscando mejoras en los productos y servicios, reducen la variación en los procesos y satisfacen las necesidades de los clientes por lo que al disminuir los daños en la carga, se continuará con disminuir los tiempos de entrega, se optimizarán los espacios de los aviones para transportar más carga, se mejorará el transporte de otros productos, se

implementará el orden y limpieza en las áreas de trabajo para optimizar los tiempos de despacho de carga y reinvertir los ahorros generados en proyectos estratégicos.

La tarea de lograr que los operadores se adapten a los nuevos procesos, responsabilidades y actividades para alcanzar la mejora en el servicio conlleva tiempo y mucho esfuerzo. Demostrar que la metodología funciona y que su aplicación es una opción para disminuir los defectos (daños y tiempo de respuesta incumplida) requiere de medir y analizar en la recolección de datos para identificar las causas-raíz sin embargo mantener controlado el proceso es más complicado porque hay que estar monitoreando el proceso diariamente para identificar cualquier desviación en el proceso modificado.

Concluyo que la aplicación de este caso práctico con la ayuda de técnicas de mejora se puede aplicar en empresas de logística como DHL y Kuehne + Nagel cuyos métodos de trabajo están creados con programas que utilizan la metodología de *Six Sigma* para mejorar el servicio de la cadena de suministro, la recolección los datos y el desarrollo de una estrategia de Voz del Cliente para conocer los requerimientos y enfocarse en agregar valor a los servicios que ofrecen estas empresas.

## REFERENCIAS

- Aeromexico Cargo*. (02 de 01 de 2016). Obtenido de Aeromexico Cargo website: <http://www.aeromexicocargo.com.mx>
- Air Traffic and Air Cargo in 2000-2012. The DHL Case (Universit  Degli Studi di Bergamo 01 de 06 de 2013).
- Ballou, R. (2005). *Logística: Administración de la Cadena de Suministro*. Prentice Hall.
- Blanchard, D. (2007). *Supply Chain Management-Best Practices*. John Wiley & Sons Inc.
- Bolstorff, P. (2000). *Supply Chain Management for Dummies*. Supply Chain Technology News.
- Cargo, A. (2016). *Reporte de Da os*. CDMX:  rea de Procedimientos.
- Ceselli, A., Gatto, M., L bbecke, M. E., Nunkesser, M., & Schilling, H. (2008). Optimizing the Cargo Express Service of Swiss Federal Railways. *Transportation Science*, 450-465.
- Civil, D. G. (2015). *Aviación Mexicana en Cifras 1993-2015*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Deutsche Post DHL Group*. (2016). Recuperado el 2016, de Deutsche Post DHL Group: [www.dpdhl.com](http://www.dpdhl.com)
- Duke, J., & Torres, V. (2005). Multifactor productivity change in the air transportation industry. *Monthly Labor Review*, 32-45.
- Economía, S. d. (2015). *Resumen Ejecutivo del Acuerdo de Asociación Trans-Pac fico*. Ciudad de México: Gobierno Federal.
- Fitzsimmons, J. (2005). *Service Management*. McGraw-Hill.
- Forster, P. W., & Regan, A. C. (2001). Electronic Integration in the Air Cargo Industry: An Information Processing Model of On-Time Performance. *Transportation Journal*, 40-46.
- Garvin, D. A. (November de 1987). *Harvard Business Review*. Obtenido de HBR Website: <https://hbr.org/1987/11/competing-on-the-eight-dimensions-of-quality>
- George, M., Rowlands, D., & Price, M. (2007). *Lean Six Sigma*. New York: McGraw-Hill.
- Golicic, S. L. (2003). Conducting a Market Opportunity Analysis for Air Cargo Operations. *Transportation Journal*, 5-15.

- Hahn, G. J. (1999). The Impact of Six Sigma Improvement-A Glimpse Into the Future of Statistics. *The American Statistician*, 208-215.
- Heizer, J. (2005). *Operations Management*. (pág. 468). Pearson.
- Herrera, A. (2005). *Diagnóstico del Transporte de Carga Aérea en México*. Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No. 273.
- Infraestructura de Transporte 2013-2018*. (2013). Ciudad de México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Retrieved from Secretaría de Comunicaciones y Transportes website: <http://www.sct.gob.mx>
- Kumar, S., Jensen, H., & Menge, H. (2008). Analyzing Mitigation of Container Security Risks Using Six Sigma DMAIC Approach in Supply Chain Design. *Transportation Journal*, 47-54.
- Larson, A. (2003). *Demystifying Six Sigma: A company-wide approach to continuous Improvement*. New York: Amacom.
- Lewis, C. y. (2005). *The Role of Air Freight in Physical Distribution*. Harvard University.
- Minitab. (2010). *Minitab 16*. State College, PA: Minitab Inc.
- Pande, P. (2000). *Las claves de Six Sigma*. New York: Ed. McGraw-Hill.
- Procedimientos, Á. d. (10 de 08 de 2016). Manual General de Aeromexico Cargo. (E. Gonzalez, Entrevistador)
- Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018*. (29 de 04 de 2014). Obtenido de Secretaría de Gobernación: <http://www.dof.gob.mx>
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2010). *The Six Sigma Handbook*. New York: Mc Graw-Hill.
- Reporte de Aviación Mexicana en Cifras 1974-2015*. (2015). Ciudad de México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Ruiz Olmedo, S. (18 de Junio de 2012). *www.logisticamx.com*. Recuperado el 21 de Marzo de 2017, de *www.logisticamx.enfasis.com*: <http://www.logisticamx.enfasis.com/articulos/64301-limitaciones-la-carga-aerea-mexico>
- Russell, M. (2017). Economic productivity in the air transportation industry: multifactor and labor productivity trends, 1990-2014. *Monthly Labor Review*, 1-33.
- Schwab, K., & Sala-i-Martin, X. (2016). The Global Competitiveness Report 2015-2016. *World Economic Forum*. Geneva: World Economic Forum.
- Shewhart, W. (2012). *Statistical Method from the viewpoint of Quality Control*. New York: Dover Publications, Inc.

- Smith, R. J. (1957). The Place of Air Transportation in Distribution. *The Analysts Journal*, 103-107.
- Snee, R., & Hoerl, R. (2003). *Leading Six Sigma: A step-by-step guide based on experience with GE and Other Six Sigma Companies*. New Jersey: Prentice Hall.
- Snee, R. D. (2008). W. Edwards Deming's "Making Another World": A Holistic Approach to Performance Improvement and the Role of Statistics. *The American Statistician*, 251-255.
- Wu, Y. (2011). Modelling of containerized air cargo forwarding problems under uncertainty. *Journal of the Operational Research Society*, 1211-1226.
- Yang, Y. H., Leung, LC. (2010). An analytic network process approach to the selection of logistics service providers for air cargo. *The Journal of the Operational Research Society*, 1365-1376.
- Zamora, S. (1975). Carrier Liability for Damage or Loss to Cargo in International Transport. *The American Journal of Comparative Law*, Vol.23, no.3, 391-450.

ANEXO 1

Long-Term Yield	Process Sigma (ST)	Defects Per 1,000,000	Defects Per 100,000	Defects Per 10,000	Defects Per 1,000	Defects Per 100
99.99966%	6.0	3.4	0.34	0.034	0.0034	0.00034
99.9995%	5.9	5	0.5	0.05	0.005	0.0005
99.9992%	5.8	8	0.8	0.08	0.008	0.0008
99.9990%	5.7	10	1	0.1	0.01	0.001
99.9980%	5.6	20	2	0.2	0.02	0.002
99.9970%	5.5	30	3	0.3	0.03	0.003
99.9960%	5.4	40	4	0.4	0.04	0.004
99.9930%	5.3	70	7	0.7	0.07	0.007
99.9900%	5.2	100	10	1.0	0.1	0.01
99.9850%	5.1	150	15	1.5	0.15	0.015
99.9770%	5.0	230	23	2.3	0.23	0.023
99.9670%	4.9	330	33	3.3	0.33	0.033
99.9520%	4.8	480	48	4.8	0.48	0.048
99.9320%	4.7	680	68	6.8	0.68	0.068
99.9040%	4.6	960	96	9.6	0.96	0.096
99.8650%	4.5	1,350	135	13.5	1.35	0.135
99.8140%	4.4	1,860	186	18.6	1.86	0.186
99.7450%	4.3	2,550	255	25.5	2.55	0.255
99.6540%	4.2	3,460	346	34.6	3.46	0.346
99.5340%	4.1	4,660	466	46.6	4.66	0.466
99.3790%	4.0	6,210	621	62.1	6.21	0.621
99.1810%	3.9	8,190	819	81.9	8.19	0.819
98.930%	3.8	10,700	1,070	107	10.7	1.07
98.610%	3.7	13,900	1,390	139	13.9	1.39
98.220%	3.6	17,800	1,780	178	17.8	1.78
97.730%	3.5	22,700	2,270	227	22.7	2.27
97.130%	3.4	28,700	2,870	287	28.7	2.87
96.410%	3.3	35,900	3,590	359	35.9	3.59
95.540%	3.2	44,600	4,460	446	44.6	4.46
94.520%	3.1	54,800	5,480	548	54.8	5.48
93.320%	3.0	66,800	6,680	668	66.8	6.68
91.920%	2.9	80,800	8,080	808	80.8	8.08
90.320%	2.8	96,800	9,680	968	96.8	9.68
88.50%	2.7	115,000	11,500	1,150	115	11.5
86.50%	2.6	135,000	13,500	1,350	135	13.5
84.20%	2.5	158,000	15,800	1,580	158	15.8
81.60%	2.4	184,000	18,400	1,840	184	18.4
78.80%	2.3	212,000	21,200	2,120	212	21.2
75.80%	2.2	242,000	24,200	2,420	242	24.2
72.60%	2.1	274,000	27,400	2,740	274	27.4
69.20%	2.0	308,000	30,800	3,080	308	30.8
65.60%	1.9	344,000	34,400	3,440	344	34.4
61.80%	1.8	382,000	38,200	3,820	382	38.2
58.00%	1.7	420,000	42,000	4,200	420	42
54.00%	1.6	460,000	46,000	4,600	460	46
50%	1.5	500,000	50,000	5,000	500	50
46%	1.4	540,000	54,000	5,400	540	54
43%	1.3	570,000	57,000	5,700	570	57
39%	1.2	610,000	61,000	6,100	610	61
35%	1.1	650,000	65,000	6,500	650	65
31%	1.0	690,000	69,000	6,900	690	69
28%	0.9	720,000	72,000	7,200	720	72
25%	0.8	750,000	75,000	7,500	750	75
22%	0.7	780,000	78,000	7,800	780	78
19%	0.6	810,000	81,000	8,100	810	81
16%	0.5	840,000	84,000	8,400	840	84
14%	0.4	860,000	86,000	8,600	860	86
12%	0.3	880,000	88,000	8,800	880	88
10%	0.2	900,000	90,000	9,000	900	90
8%	0.1	920,000	92,000	9,200	920	92

Note: Subtract 1.5 to get long-term sigma level

## ANEXO 2

Fecha	D/R	Bultos	Peso	Origen	Destino	Reporte de Daño	Total	Cumplimiento
22/08/2017	R	10	21.3	MEX	TIJ	NO DAMAGE	6	On time
28/08/2017	D	3	31.2	MEX	MTY	NO DAMAGE	4	On time
01/09/2017	R	10	21.3	MEX	MID	NO DAMAGE	6	On time
02/09/2017	D	10	18.3	GDL	CUN	NO DAMAGE	8	Late
04/09/2017	R	10	17.9	MEX	GDL	NO DAMAGE	4	On time
05/09/2017	R	10	19.2	MEX	MTY	NO DAMAGE	6	On time
11/09/2017	R	2	24.9	MID	NLD	NO DAMAGE	6	On time
16/09/2017	R	10	19.2	PBC	PVR	NO DAMAGE	9	Late
16/09/2017	R	10	24.5	MEX	PVR	NO DAMAGE	7	On time
18/09/2017	D	3	9	LMM	ZIH	NO DAMAGE	5	On time
18/09/2017	D	10	19.2	MEX	MID	NO DAMAGE	4	On time
22/09/2017	D	10	22.1	TIJ	MEX	NO DAMAGE	7	On time
26/09/2017	D	10	18.6	MTY	CUN	NO DAMAGE	6	On time
30/09/2017	D	3	24.9	REX	ACA	NO DAMAGE	6	On time
30/09/2017	D	10	10.3	MEX	HMO	NO DAMAGE	8	Late
02/10/2017	R	9	68.7	HMO	MEX	NO DAMAGE	7	On time
07/10/2017	R	2	5.5	MEX	CUL	NO DAMAGE	5	On time
08/10/2017	R	7	32.8	MEX	MTY	NO DAMAGE	5	On time
08/10/2017	R	10	11.3	MEX	TAP	NO DAMAGE	5	On time
08/10/2017	D	10	11.1	MEX	CUU	NO DAMAGE	6	On time
10/10/2017	R	5	97.7	MEX	MTY	NO DAMAGE	6	On time
13/10/2017	D	10	21.3	MEX	TGZ	NO DAMAGE	6	On time
14/10/2017	R	11	104.5	CUN	MEX	NO DAMAGE	5	On time
15/10/2017	R	10	83.4	MEX	VSA	NO DAMAGE	5	On time
16/10/2017	R	10	18.6	TLC	MTY	NO DAMAGE	5	On time
16/10/2017	D	3	20.2	MEX	MID	DAMAGED	5	On time
16/10/2017	R	7	32.6	MZT	SLP	NO DAMAGE	5	On time
17/10/2017	D	10	22.1	MEX	MTY	NO DAMAGE	5	On time
17/10/2017	R	10	19.2	MEX	CUN	NO DAMAGE	5	On time
20/10/2017	D	4	52.2	MTY	VSA	NO DAMAGE	6	On time
21/10/2017	D	9	31.2	MEX	MTY	NO DAMAGE	6	On time
23/10/2017	D	3	20.2	MEX	CUL	NO DAMAGE	6	On time
23/10/2017	D	10	9.9	CUL	MEX	NO DAMAGE	4	On time
23/10/2017	D	11	61.1	MEX	GDL	NO DAMAGE	8	Late
24/10/2017	R	7	6.3	MEX	MID	NO DAMAGE	7	On time
24/10/2017	R	9	31.2	GDL	SJD	NO DAMAGE	5	On time
24/10/2017	D	3	31.7	MEX	MID	NO DAMAGE	9	Late

28/10/2017	R	6	98.5	MTY	MEX	NO DAMAGE	5	On time
28/10/2017	R	12	688.2	MEX	VER	NO DAMAGE	5	On time
28/10/2017	D	10	19.2	MEX	MID	NO DAMAGE	8	Late
29/10/2017	R	4	1406	MEX	MTY	NO DAMAGE	6	On time
29/10/2017	D	10	14.3	CUL	MAM	NO DAMAGE	6	On time
31/10/2017	D	10	9.4	MEX	VSA	NO DAMAGE	7	On time
31/10/2017	R	11	81.6	MEX	HMO	NO DAMAGE	8	Late
31/10/2017	R	18	20.5	MEX	MID	NO DAMAGE	6	On time
03/11/2017	D	10	18.6	MEX	VSA	NO DAMAGE	8	Late
03/11/2017	D	4	52.2	MEX	CUL	NO DAMAGE	13	Late
03/11/2017	R	10	20.5	MEX	MTY	NO DAMAGE	8	Late
03/11/2017	D	10	35.2	MEX	TIJ	NO DAMAGE	8	Late
04/11/2017	D	10	34.4	MEX	OAX	NO DAMAGE	9	Late
04/11/2017	D	10	83.4	MEX	VER	NO DAMAGE	9	Late
04/11/2017	R	7	42.6	MEX	MTY	NO DAMAGE	9	Late
04/11/2017	D	1	0.7	MEX	MTY	NO DAMAGE	11	Late
04/11/2017	D	10	10.3	MEX	MTY	NO DAMAGE	9	Late
05/11/2017	D	10	18.7	MEX	MTY	NO DAMAGE	5	On time
05/11/2017	D	10	21.4	CJS	GDL	NO DAMAGE	8	Late
05/11/2017	D	10	17.2	MEX	CUU	NO DAMAGE	7	On time
05/11/2017	D	10	19.2	MEX	CUL	NO DAMAGE	6	On time
05/11/2017	R	10	11.3	MEX	MXL	NO DAMAGE	9	Late
05/11/2017	D	4	4.7	MEX	HMO	NO DAMAGE	9	Late
05/11/2017	D	11	13.3	MEX	CUN	DAMAGED	5	On time
07/11/2017	R	4	2.1	MTY	MID	NO DAMAGE	8	Late
10/11/2017	R	5	97.7	MTY	CME	NO DAMAGE	5	On time
10/11/2017	D	10	19.2	MEX	CUU	NO DAMAGE	6	On time
11/11/2017	D	10	24.5	GDL	CME	NO DAMAGE	5	On time
11/11/2017	D	10	21.3	MEX	MTY	NO DAMAGE	5	On time
11/11/2017	D	10	21.3	MEX	MTY	NO DAMAGE	5	On time
12/11/2017	R	10	43.4	MEX	CUN	NO DAMAGE	5	On time
13/11/2017	D	11	104.5	MEX	HMO	NO DAMAGE	5	On time
13/11/2017	D	9	68.7	MEX	MTY	NO DAMAGE	5	On time
19/11/2017	R	3	58.6	MEX	MTY	NO DAMAGE	4	On time
19/11/2017	R	7	37	MEX	HMO	NO DAMAGE	5	On time
19/11/2017	R	3	31.2	MEX	TGZ	NO DAMAGE	4	On time
19/11/2017	R	4	9	MEX	HMO	NO DAMAGE	7	On time
20/11/2017	D	10	41.7	HMO	MEX	NO DAMAGE	9	Late
20/11/2017	D	1	2	MEX	GDL	DAMAGED	6	On time

20/11/2017	D	10	41.7	MEX	LAP	NO DAMAGE	9	Late
21/11/2017	D	10	24.5	MEX	MXL	NO DAMAGE	6	On time
28/11/2017	D	10	44.9	MEX	CUN	DAMAGED	6	On time
01/12/2017	D	10	36.3	MEX	GDL	NO DAMAGE	7	On time
01/12/2017	D	6	18.2	MEX	GDL	NO DAMAGE	7	On time
01/12/2017	R	8	146.9	HMO	MEX	NO DAMAGE	7	On time
02/12/2017	R	4	114.4	MEX	MID	NO DAMAGE	9	Late
02/12/2017	D	10	35.2	MEX	TIJ	NO DAMAGE	9	Late
03/12/2017	D	10	48.3	MEX	CUL	NO DAMAGE	5	On time
03/12/2017	R	10	272.4	MEX	VSA	NO DAMAGE	6	On time
03/12/2017	D	11	118.4	MEX	MID	NO DAMAGE	5	On time
04/12/2017	R	8	101.1	MEX	VSA	NO DAMAGE	5	On time
04/12/2017	D	2	3.5	MEX	TGZ	NO DAMAGE	10	Late
04/12/2017	D	10	17.9	MEX	MXL	NO DAMAGE	4	On time
09/12/2017	R	2	24.9	MEX	CUU	DAMAGED	6	On time
11/12/2017	D	10	20.5	MEX	LAP	NO DAMAGE	4	On time
12/12/2017	D	1	20	MEX	MXL	NO DAMAGE	6	On time
12/12/2017	D	5	409.5	MEX	CUU	NO DAMAGE	7	On time
15/12/2017	D	5	37.2	MEX	CUU	NO DAMAGE	6	On time
15/12/2017	D	10	23.1	MEX	CUU	NO DAMAGE	8	Late
16/12/2017	D	11	72.7	MEX	MID	NO DAMAGE	8	Late
20/12/2017	R	8	232.8	HMO	MEX	NO DAMAGE	6	On time
23/12/2017	R	7	189.2	MEX	MTY	NO DAMAGE	9	Late
23/12/2017	R	11	81.6	MEX	TIJ	NO DAMAGE	8	Late
24/12/2017	R	1	1.9	MEX	TIJ	NO DAMAGE	9	Late
24/12/2017	D	11	11	MEX	TIJ	NO DAMAGE	5	On time
25/12/2017	D	10	39.3	MEX	TIJ	NO DAMAGE	5	On time
26/12/2017	D	5	91.5	GDL	CEN	NO DAMAGE	10	Late
26/12/2017	D	4	79	CUL	CJS	NO DAMAGE	5	On time
26/12/2017	R	9	54	MEX	MTY	NO DAMAGE	5	On time
29/12/2017	D	1	95	MEX	MID	NO DAMAGE	7	On time
30/12/2017	D	10	33.4	MEX	MTY	DAMAGED	7	On time
30/12/2017	R	6	152.3	MEX	SJD	NO DAMAGE	7	On time
01/01/2018	D	10	22.1	MEX	HMO	NO DAMAGE	5	On time
02/01/2018	R	6	98.5	MEX	TRC	NO DAMAGE	7	On time
02/01/2018	D	12	152	TGZ	MID	NO DAMAGE	7	On time
06/01/2018	R	11	64.6	MEX	MTY	NO DAMAGE	9	Late
06/01/2018	D	5	16.1	MEX	VSA	NO DAMAGE	5	On time
08/01/2018	D	4	13.2	MEX	HMO	NO DAMAGE	4	On time

12/01/2018	D	10	22.9	MEX	MID	NO DAMAGE	7	On time
13/01/2018	R	10	33.4	MEX	TGZ	NO DAMAGE	6	On time
13/01/2018	D	5	97.7	MEX	CUL	NO DAMAGE	6	On time
14/01/2018	R	4	114.4	MEX	TAP	NO DAMAGE	5	On time
16/01/2018	R	5	97.7	MEX	TAM	NO DAMAGE	5	On time
22/01/2018	D	10	18.6	MEX	ACA	NO DAMAGE	7	On time
23/01/2018	R	10	36.3	MEX	MID	NO DAMAGE	5	On time
23/01/2018	R	10	18.6	MEX	MID	NO DAMAGE	4	On time
23/01/2018	R	7	32.6	MEX	MTY	NO DAMAGE	4	On time
27/01/2018	R	10	41.7	MTY	MZT	NO DAMAGE	7	On time
29/01/2018	R	5	142.4	TIJ	LAP	NO DAMAGE	6	On time
03/02/2018	D	7	32.8	TIJ	MEX	NO DAMAGE	7	On time
03/02/2018	R	10	19.2	MEX	TIJ	NO DAMAGE	5	On time
03/02/2018	R	10	21.3	MEX	MID	NO DAMAGE	3	On time
06/02/2018	R	11	118.4	MEX	HMO	NO DAMAGE	5	On time
07/02/2018	R	11	87.4	MEX	MTY	NO DAMAGE	3	On time
07/02/2018	D	11	61.1	MEX	LMM	NO DAMAGE	5	On time
10/02/2018	R	11	64.6	VER	CUN	NO DAMAGE	5	On time
10/02/2018	D	10	17.2	TIJ	MEX	NO DAMAGE	7	On time
11/02/2018	R	10	22.9	TIJ	MTY	NO DAMAGE	8	Late
12/02/2018	D	5	37.2	MEX	TIJ	NO DAMAGE	6	On time
12/02/2018	D	5	24.9	MEX	TIJ	DAMAGED	6	On time
14/02/2018	D	10	44.9	MEX	GDL	NO DAMAGE	5	On time
16/02/2018	D	11	72.7	TLC	MTY	NO DAMAGE	10	Late
17/02/2018	D	10	19.2	TIJ	PVR	NO DAMAGE	7	On time
17/02/2018	D	1	9.4	CJS	OAX	NO DAMAGE	7	On time
17/02/2018	R	6	24.5	MTY	MTT	NO DAMAGE	8	Late
18/02/2018	D	6	52.7	MTY	MID	NO DAMAGE	6	On time
19/02/2018	D	10	14.1	MEX	MTY	NO DAMAGE	6	On time
19/02/2018	D	10	14.3	MEX	TGZ	NO DAMAGE	6	On time
23/02/2018	R	13	91	MEX	AGU	NO DAMAGE	7	On time
23/02/2018	D	10	48.4	MEX	GDL	NO DAMAGE	9	Late
23/02/2018	D	9	31.2	BJX	LAP	NO DAMAGE	7	On time
24/02/2018	D	10	21.4	MTY	MEX	NO DAMAGE	7	On time
25/02/2018	R	7	6.3	LMM	ZIH	NO DAMAGE	7	On time
25/02/2018	R	1	28	MEX	MTY	NO DAMAGE	10	Late
27/02/2018	D	10	25.4	LMM	CJS	NO DAMAGE	7	On time
27/02/2018	D	10	9.5	MEX	HMO	NO DAMAGE	7	On time
02/03/2018	D	10	44.1	MEX	CJS	NO DAMAGE	6	On time

04/03/2018	D	10	27.5	MEX	VSA	NO DAMAGE	9	Late
04/03/2018	D	12	87.7	MEX	MXL	NO DAMAGE	6	On time
06/03/2018	D	10	152.6	MEX	MXL	NO DAMAGE	10	Late
06/03/2018	D	10	43.4	MEX	MXL	NO DAMAGE	7	On time
10/03/2018	D	10	17.2	MEX	PVR	NO DAMAGE	7	On time
13/03/2018	D	10	28	ZIH	HMO	NO DAMAGE	11	Late
17/03/2018	D	3	202	MEX	TRC	NO DAMAGE	8	Late
20/03/2018	D	10	16	MEX	LAP	NO DAMAGE	7	On time
20/03/2018	D	10	22.9	MEX	MID	NO DAMAGE	7	On time
20/03/2018	D	10	35.6	MEX	CUU	NO DAMAGE	6	On time
23/03/2018	D	8	80.6	MTY	TAM	NO DAMAGE	7	On time
24/03/2018	D	10	33	MEX	LAP	NO DAMAGE	10	Late
26/03/2018	R	3	215.6	MEX	TIJ	NO DAMAGE	5	On time
26/03/2018	R	10	21.8	MEX	VSA	NO DAMAGE	6	On time
26/03/2018	R	3	5	MEX	MID	NO DAMAGE	5	On time
30/03/2018	D	9	21.5	MXL	LMM	NO DAMAGE	7	On time
30/03/2018	D	10	11.3	MEX	CUU	NO DAMAGE	7	On time
30/03/2018	D	2	1.5	TIJ	MTY	NO DAMAGE	7	On time
30/03/2018	R	10	85.1	MEX	TIJ	NO DAMAGE	7	On time
31/03/2018	D	10	11.1	BJX	MID	NO DAMAGE	6	On time
31/03/2018	D	10	77.9	MEX	TIJ	NO DAMAGE	7	On time
01/04/2018	R	7	127.5	MEX	MTY	NO DAMAGE	9	Late
01/04/2018	D	11	531.6	MEX	MTY	NO DAMAGE	8	Late
02/04/2018	R	10	68	MEX	MID	NO DAMAGE	9	Late
02/04/2018	R	11	83.1	MEX	CUU	NO DAMAGE	9	Late
03/04/2018	D	10	47.7	MEX	CUL	NO DAMAGE	6	On time
08/04/2018	D	10	11	TIJ	CEN	NO DAMAGE	7	On time
09/04/2018	R	10	18.3	MEX	HMO	NO DAMAGE	8	Late
10/04/2018	R	7	32.8	CUL	MID	NO DAMAGE	8	Late
10/04/2018	R	10	26.1	MID	MTY	NO DAMAGE	8	Late
10/04/2018	R	6	87.9	MEX	MID	NO DAMAGE	5	On time
10/04/2018	R	10	211.7	MXL	GDL	NO DAMAGE	4	On time
10/04/2018	R	10	45.7	MZT	TIJ	NO DAMAGE	6	On time
10/04/2018	D	6	18	MEX	MXL	NO DAMAGE	8	Late
10/04/2018	R	10	88.7	MEX	MTY	NO DAMAGE	8	Late
14/04/2018	D	11	242	MEX	TIJ	NO DAMAGE	9	Late
14/04/2018	R	8	25.2	MEX	TGZ	NO DAMAGE	5	On time
14/04/2018	R	2	28.7	AGU	MEX	DAMAGED	11	Late
15/04/2018	D	10	31.9	MEX	MTT	NO DAMAGE	16	Late

16/04/2018	D	9	21.2	MEX	TRC	NO DAMAGE	5	On time
23/04/2018	D	6	174.3	MEX	MID	NO DAMAGE	10	Late
24/04/2018	R	5	203.4	MEX	TIJ	NO DAMAGE	10	Late
24/04/2018	D	2	2.7	MEX	TGZ	NO DAMAGE	6	On time
25/04/2018	D	3	53.4	TLC	MID	NO DAMAGE	16	Late
08/05/2018	R	9	287.5	MEX	TGZ	NO DAMAGE	10	Late
12/05/2018	R	12	142.3	MZT	CME	NO DAMAGE	8	Late

## GLOSARIO

AICM – Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

ANOVA – Análisis de Varianza, por sus siglas en inglés Analysis of Variance.

CTQ – Características críticas del cliente, por sus siglas en inglés Critical to Quality.

DMAIC – Definir, Medir, Analizar, Mejorar (Improve) y Controlar.

DOE – Design of Experiments, por sus siglas en inglés Diseño de Experimentos.

MOA – Oportunidad de Análisis de Mercado, por sus siglas en inglés Market Opportunity Analysis.

MSA – Análisis del Sistema de Medición, por sus siglas en inglés Measurement System Analysis.

SIPOC – Proveedor, Entradas, Proceso, Salidas y Cliente, por sus siglas en inglés Supplier, Input, Process, Output, Customer.

VOC – Voice of the Customer, por sus siglas en inglés Voz del cliente.