



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA EN EL SERVICIO DE MANIPULEO Y ALMACENAJE DE CARGA AÉREA DE EXPORTACIÓN

Tesis para optar por el Título de Ingeniero Industrial, que presenta el bachiller:

Ronald Fernando Gutiérrez Posadas

ASESOR: Ing. Luís A. Negrón Naldos

Lima, mayo del 2009

Diagnóstico y propuesta de mejora en el servicio de manipuleo y almacenaje de carga aérea de exportación

Resumen

El presente documento tiene como objetivo proponer mejoras para aumentar la calidad y velocidad del servicio de manipuleo y almacenaje de carga aérea de exportación. Para ello el suscrito utiliza la metodología Esbelta Seis Sigma que combina la capacidad de eliminar variación que proporciona la metodología Seis Sigma y la esbeltez que proporciona el pensamiento de Manufactura esbelta al eliminar el desperdicio y reducir la complejidad.

El servicio de manipuleo y almacenaje de carga es un servicio aeroportuario que consta de tres (3) procesos. El primero es el de Recepción e Inspección; el segundo de Almacenaje de carga y el último es el de es Paletizaje y Traslado a zona negra. Este servicio es proporcionado por el Terminal aeroportuario y lo usa la línea aérea como soporte de sus operaciones aeronáuticas civiles.

Para la elaboración de la tesis se trabajó con un importante Terminal aeroportuario que maneja el proyecto Lima Cargo City, con el cual pretende servir a las líneas aéreas de los tres (3) Terminales más importantes del país.

Mediante una matriz Causa-Efecto se llegó a la conclusión que el proceso crítico para el desempeño del servicio era el proceso de Recepción e Inspección. Al medir el nivel sigma de dicho proceso en los parámetros críticos para la calidad, se obtuvo un valor de 3.04, lo que quiere significa 1,177 defectos por millón.

Al evaluar el parámetro crítico para la entrega (velocidad), se encontró que para un valor referencial de 40 minutos se obtiene un rendimiento individual de 56.30%. Por lo que el 43.70% de las veces el servicio “llega tarde”.

Las propuestas de mejora se enfocan en eliminar operaciones que no generen valor agregado, son fuentes de error y consumen tiempo en la ejecución del servicio. Es por ello, que el reemplazo de actividades transaccionales de digitación y controles manuales por servicios web resultó a simple vista viable.

El cambio de tecnología influye directamente en el rendimiento y capacidad del proceso. Ello se validó simulando el proceso mejorado y el resultado fue una reducción promedio de aproximadamente 16% en los tiempos (mayor velocidad). Por otro lado, el nivel sigma del proceso aumenta de 3.04 a 3.6 lo que reduce los defectos por millón de 1,177 a 157.

**Diagnóstico y propuesta de mejora en los servicios aeroportuarios de
carga para exportaciones de carga seca en el Perú**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Marco Teórico	1
1.1	Evolución de la calidad	1
1.2	Metodología seis sigma: DMAIC	7
1.2.1	Etapas Definir	10
1.2.2	Etapas Medir	11
1.2.3	Etapas Analizar y Mejorar	15
1.3	Lean-seis sigma.....	19
1.4	Simulación de sistemas discretos.....	22
1.4.1	Proceso de llegada: Creación del proceso de Poisson	23
1.4.2	Proceso de llegada: Distribución Poisson.....	24
1.4.3	Tiempo entre llegadas	24
1.4.4	Contraste de Bondad de Ajuste.....	26
1.4.5	Teoría de Colas	28
1.4.6	Generación de variación aleatoria.....	30
2	Servicios aeroportuarios	33
2.1	Tipos de servicios aeroportuarios y sus ámbitos de desarrollo	33
2.2	Organismos que regulan a los servicios aeroportuarios.....	36
3	Diagnóstico del servicio	40
3.1	Situación actual	40
3.1.1	Etapas del servicio.....	40
3.1.2	Indicadores claves del servicio	43
3.1.3	Definición del problema	45

3.2	Medición de la calidad del servicio	52
3.2.1	Medición del nivel sigma.....	52
3.2.2	Velocidad del servicio	56
3.3	Causas del problema.....	70
3.3.1	Causas de problemas críticos para la calidad	70
3.3.2	Causas del problema de la velocidad.....	76
3.4	Análisis de los modos de falla	86
3.5	Modelamiento y análisis del proceso de recepción e inspección de carga ..	90
4	Propuestas de mejora	97
4.1	Objetivos de las propuestas de mejora	97
4.2	Mapa de flujo de valor	97
4.3	Planteamiento de las propuestas de mejora	99
4.3.1	Propuesta de mejora para el modo de falla “Datos de pre-guía mal ingresados al sistema de exportación”	99
4.3.2	Propuesta de mejora para el modo de falla “Warehouse receipt emitido con peso incorrecto”	100
4.3.3	Propuesta de mejora para el modo de falla “Warehouse receipt emitido a agentes de carga no acreditados”	102
4.3.4	Propuesta de mejora para el modo de falla “Cargas recepcionadas con etiquetas con información incorrecta”	103
4.3.5	Propuesta de mejora para el modo de falla “Cargas recepcionadas con etiquetas con información incorrecta”	103
5	Validación de las propuestas de mejora	106
5.1	Validación del cumplimiento del objetivo de calidad.....	106
5.2	Validación del cumplimiento del objetivo de velocidad.....	107
5.3	Validación del cumplimiento del objetivo de valor agregado	109
6	Evaluación económica	111

7	Conclusiones y recomendaciones.....	116
7.1	Conclusiones	116
7.2	Recomendaciones.....	118



Diagnóstico y propuesta de mejora en los servicios aeroportuarios de carga para exportaciones de carga seca en el Perú

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1 Mejora de la línea base del proceso (KPOV).....	1
Anexo N° 2 Rendimiento de las acciones de compañías de servicio con 1% de Black Belt dentro de su personal.....	2
Anexo N° 3 Warehouse receipt para LAN AIRLINES S.A.....	3
Anexo N° 4 Formato de autorización para comenzar el proyecto SIX SIGMA.....	4
Anexo N° 5 Pareto de la ocurrencia de las clases de Warehouse Receipt.....	5
Anexo N° 6 Zona de recepción e inspección de carga	6
Anexo N° 7 Tiempos promedios de las clases de warehouse receipt (min)	7
Anexo N° 8 Crecimiento de la exportaciones, importaciones y balanza comercial (Millones de US\$).....	8
Anexo N° 9 Distribución diaria del mes de Noviembre 2006.....	9
Anexo N° 10 Porcentaje (%) de Warehouse receipt estándar entre las once (11) y veintidós (22) horas durante el mes de noviembre del 2006.....	10
Anexo N° 11 Línea de tiempo de los flujos del proceso de recepción e inspección de carga por tipo de warehouse receipt	11
a. Anexo N° 11 (1 de 4).....	11
b. Anexo N° 11 (2 de 4).....	12
c. Anexo N° 11 (3 de 4).....	13
d. Anexo N° 11 (4 de 4).....	14
Anexo N° 12 Equilibrio entre costos de espera y costos de servicio.....	15
Anexo N° 13 Configuraciones de modelos de colas del proceso de recepción e inspección de carga	16
Anexo N° 14 Distribución de los tiempos entre llegadas de los warehouse receipt.....	17
a. Anexo N° 14 (1 de 7).....	17

b. Anexo N° 14 (2 de 7)	18
c. Anexo N° 14 (3 de 7)	19
d. Anexo N° 14 (4 de 7)	20
e. Anexo N° 14 (5 de 7)	21
f. Anexo N° 14 (6 de 7)	22
g. Anexo N° 14 (7 de 7)	23
Anexo N° 15 Distribución de los bultos de carga	24
a. Anexo N° 15 (1 de 6)	25
b. Anexo N° 15 (2 de 6)	25
c. Anexo N° 15 (3 de 6)	26
d. Anexo N° 15 (4 de 6)	27
e. Anexo N° 15 (5 de 6)	28
f. Anexo N° 15 (6 de 6)	29
Anexo N° 16 Distribución de los tiempos de servicio del proceso de inspección y recepción de carga	30
a. Anexo N° 16 (1 de 4)	30
b. Anexo N° 16 (2 de 4)	31
c. Anexo N° 16 (3 de 4)	32
d. Anexo N° 16 (4 de 4)	33
Anexo N° 17 Operaciones del proceso de recepción e inspección de carga	34
Anexo N° 18 Distribución de tiempos de las operaciones del proceso	35
Anexo N° 19 Modelo del proceso de recepción e inspección de carga	36
Anexo N° 20 Resumen de la simulación de 30 réplicas (Horas)	37
Anexo N° 21 Cantidad de réplicas requeridas para promedios con 95% de confianza	38
Anexo N° 22 Resumen de la simulación de 1,100 réplicas (Horas)	39

Anexo N° 23 Ingresos versus salidas de agentes de carga por tipo de warehouse receipt..... 40

Anexo N° 24 Clasificación de operaciones en función a su valor agregado 41

Anexo N° 25 Modelo del proceso de recepción e inspección de carga mejorado 42

Anexo N° 26 Resumen de la simulación de 30 réplicas de modelo mejorado (Horas) 43

Anexo N° 27 Resumen de la simulación de 1,100 réplicas de modelo mejorado (Horas) 44



Diagnóstico y propuesta de mejora en los servicios aeroportuarios de carga para exportaciones de carga seca en el Perú

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.2.1 Defectos de partes por millón de una curva normal estándar	7
Tabla 1.2.2 Defectos de partes por millón de una curva normal estándar +/- 1.5 sigma	9
Tabla 1.2.3.1 Método de selección de método de prueba.	16
Tabla 1.2.3.2 Anova de una vía.....	18
Tabla 1.3.1 Ciclos de eficiencia.....	21
Tabla 2.2.1 Procedimientos aduaneros.....	37
Tabla 2.2.2 Regímenes aduaneros	38
Tabla 3.1.3.1 Matriz Causa-Efecto	47
Tabla 3.1.3.2 Tiempos de emisión de warehouse receipt.....	49
Tabla 3.2.1.1 Parámetros del servicio	52
Tabla 3.2.1.2 Defectos del Producto	52
Tabla 3.2.1.3 Nivel sigma de los parámetros críticos para la calidad	53
Tabla 3.2.2.1 Clases de Warehouse receipt	58
Tabla 3.2.2.2 Crecimiento anual de la carga seca ingresada	61
Tabla 3.2.2.3 Crecimiento de la exportaciones (Millones de US\$).....	62
Tabla 3.2.2.4 Toneladas de carga ingresadas en los años 2005 y 2006.....	62
Tabla 3.2.2.5 Correlación entre WHR, Kilos y WHR ESTD.....	64
Tabla 3.2.2.6 Pareto de la llegada horaria de WHR ESTD durantel el mes de noviembre 2006.....	64
Tabla 3.2.2.7 Distribución de las warehouse receipt estándar durante el día pico y bajo de noviembre del 2006	65
Tabla 3.3.1.1 Causas de problemas críticos para la calidad.....	75

Tabla 3.4.1 Leyenda de valores de severidad, ocurrencia y detección.....	86
Tabla 3.4.2 Modos de falla y causa preliminar en el proceso	86
Tabla 3.4.3 Análisis de modos de falla y efectos del proceso.....	87
Tabla 3.5.1 Tiempos entre llegadas	91
Tabla 3.5.2 Distribución de bultos por Warehouse receipt.....	92
Tabla 3.5.3 Recursos del proceso de Recepción e inspección de carga.....	93
Tabla 3.5.4 Tiempos en sistema promedios por tipo de WHR al 95% de confiabilidad	94
Tabla 3.5.5 Utilización de los recursos del sistema.....	95
Tabla 3.5.6 Estimación del porcentaje (%) de Valor agregado del proceso de recepción e inspección de carga.....	96
Tabla 5.1.1 Nivel de calidad del proceso de recepción e inspección de carga mejorado	106
Tabla 5.2.2 Tiempos en sistema promedios por tipo de warehouse receipt al 95% de confiabilidad para el proceso mejorado.....	107
Tabla 5.2.3 Utilización de los recursos del sistema mejorado.....	108
Tabla 5.2.4 Variación de los tiempos en sistema.....	108
Tabla 5.2.5 Ingresos versus salidas de agentes de carga por tipo de warehouse receipt para el proceso mejorado.....	109
Tabla 5.3.1 Estimación del porcentaje (%) de Valor agregado del proceso de recepción e inspección de carga para el proceso mejorado	110
Tabla 6.1 Cronograma de implementación de las propuestas de mejora	111
Tabla 6.2 Presupuesto de costos de la implementación de las propuestas de mejora.....	112
Tabla 6.3 Cálculo de la base imponible anual por tres digitadores.....	113
Tabla 6.4 Cálculo del gasto administrativo anual.....	113
Tabla 6.5 Tasa de interés activa promedio de mercado efectiva	114

Tabla 6.6 Flujo de caja proyectados para el proyecto de mejora del servicio..... 115



Diagnóstico y propuesta de mejora en los servicios aeroportuarios de carga para exportaciones de carga seca en el Perú

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1.1 Etapas de la evolución de la calidad.....	2
Ilustración 1.1.2 Procesos, objetivos y resultados de la gestión de la calidad	4
Ilustración 1.1.3 Proceso in-out de la gestión de la calidad total.....	6
Ilustración 1.2.1 Distribución Normal Estándar y límites de tolerancia para el proceso.....	9
Ilustración 1.2.2 Defectos de partes por millón de una curva normal estándar +/- 1.5 sigma.....	9
Ilustración 1.2.2.1 Rendimiento de una salida del proceso (KPOV).....	13
Ilustración 1.2.3.1 Relación entre las entradas KPIV's y las salidas KPOV's	15
Ilustración 1.2.3.2 Suma de cuadrados en ANOVA	17
Ilustración 1.3.1 Sólo Lean + Six Sigma = Costos bajos.....	20
Ilustración 1.4.5.1 Esquema de modelo de cola.....	29
Ilustración 1.4.6.1 Distribución exponencial visto desde la técnica de transformación inversa.....	32
Ilustración 2.3.1 Servicio de manipuleo y almacenaje de carga.....	39
Ilustración 3.1.1.1 Flujo grama del servicio	40
Ilustración 3.1.2.1 % de vuelos en zona negra a tiempo Ene-Ago 2006.....	44
Ilustración 3.1.2.2 Promedios semanales de tiempos de emisión de warehouse reciep en minutos	45
Ilustración 3.1.3.1 Proceso de exportación	48
Ilustración 3.1.3.2 Flujograma del proceso de recepción e inspección de carga.....	50
Ilustración 3.2.1.1 Gráfico de probabilidad para los tiempos de emisión de warehouse reciept.....	54

Ilustración 3.2.1.2 Distribución Gamma ajustada de los tiempos de emisión de warehouse receipt.....	55
Ilustración 3.2.2.1 Diagrama de espagueti del flujo de cargas.....	59
Ilustración 3.2.2.2 Diagrama de espagueti del flujo de documentos.....	60
Ilustración 3.2.2.3 Distribución horaria del mes de Noviembre 2006.....	63
Ilustración 3.2.2.4 Tiempo Takt vs. Lead Time durante el mes de noviembre del 2006.....	69
Ilustración 3.3.1.1 Causas del defecto del parámetro: Datos de la pre-guía correctamente ingresados al sistema de exportación.....	70
Ilustración 3.3.1.2 Causas del defecto del parámetro: Warehouse emitido con peso incorrecto.....	71
Ilustración 3.3.1.3 Causas del defecto del parámetro: Carga correctamente etiquetada.....	72
Ilustración 3.3.1.4 Causas del defecto del parámetro: Carga correctamente etiquetada.....	74
Ilustración 3.3.2.1 Distribución de los tiempos en proceso de las Warehouse receipt tipo “A” que no pasan por inspección física.....	78
Ilustración 3.3.2.2 Gráfico de probabilidad para los tiempos en proceso de las Warehouse receipt tipo “A” que no pasan por inspección física.....	79
Ilustración 3.3.2.3 Distribución de los tiempos en proceso de las Warehouse receipt tipo “A” que pasan por inspección física sin DIRANDRO.....	80
Ilustración 3.3.2.4 Gráfico de probabilidad para los tiempos en proceso de las Warehouse receipt tipo “A” que pasan por inspección física.....	81
Ilustración 3.3.2.5 Histograma de los tiempos en proceso de las Warehouse receipt tipo “A” que pasan por inspección física del personal de DIRANDRO.....	82
Ilustración 3.5.1 Pareto de la ocurrencia de los tipos de warehouse receipt.....	90
Ilustración 4.2.1 Flujo de valor del proceso de recepción e inspección de carga.....	98
Ilustración 4.3.1.1 Esquema de intercambio de datos mediante servicios web.....	100

1 Marco Teórico

1.1 Evolución de la calidad

Existen muchas definiciones de calidad que refieren excelencia en servicios y bienes que cumplen con las expectativas de los “clientes”. Entre las principales definiciones de calidad encontramos:

“Una buena calidad no significa necesariamente una “alta calidad”, más que eso, calidad es un grado predecible de uniformidad y confiabilidad a bajo costo, y adecuado al mercado. Calidad es lo que el cliente desea y necesita”. (W. Edwards Deming)

“La calidad es en esencia una manera de administrar la organización, y al igual que el marketing y las finanzas, la calidad se ha convertido en un elemento imprescindible de la gerencia moderna” (Armand V. Feigenbaum)

“Calidad Total es estar en forma para el uso, desde los puntos de vista estructurales, sensoriales, orientados en el tiempo, comerciales y éticos en base a parámetros de calidad de diseño, calidad de cumplimiento, de habilidad, seguridad del producto y servicio en el campo”. (Joseph M. Juran)

“Calidad Total es el cumplimiento de los requerimientos, donde el sistema es la prevención, el estándar es cero defectos y la medida es el precio del incumplimiento.”. (Philip B. Crosby)

“Calidad Total es cuando se logra un producto económico, útil y satisfactorio para el consumidor”. (Kaoro Ishikawa)

“La calidad se define como el grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos” (ISO 9000:2005, 3.1.1.)

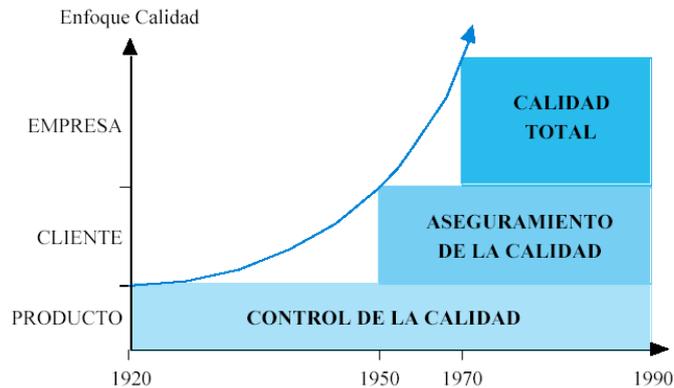
Los grandes pensadores de la calidad la han enfocado a la satisfacción del cliente y optimización para luego convertirse en un sistema de gestión donde la trilogía de Juran: planeamiento, control y mejoramiento de la calidad; los catorce (14) puntos de Deming; las siete (7) herramientas de Kaoru Ishikawa entre otros aportes, se encuentran inmersos en todo programa de mejora.

El concepto de Calidad ha evolucionado hasta convertirse en una forma de gestión que las organizaciones desarrollan para un mejoramiento continuo.

Simplificando los conceptos y quitando matices, se obtiene el término de “calidad total”, el cual es un modelo global de gestión de toda la empresa. Este concepto lleva a la calidad a enfocarse en las organizaciones.

En la Ilustración 1.1.1 se observa que la evolución de la calidad se ha dado conforme ha cambiado su enfoque a través de los años.

Ilustración 1.1.1 Etapas de la evolución de la calidad



Fuente: Sociedad para la Promoción y Reconversión Industrial

a. Control de la calidad

“El control de la calidad es el conjunto de técnicas y actividades, de carácter operativo, utilizadas para verificar los requisitos relativos a la calidad del producto o servicio”. (Dale H. Besterfield)

Hacia 1930, se introduce la estadística para planes de muestreo del producto final y años más tarde, los controles intermedios en el proceso que mejoran la calidad al final de la línea, pasando de controlar el producto a controlar el proceso, identificando los parámetros que consiguen que el producto salga bien, difundiéndose de esa manera el “control estadístico del proceso”.

Siendo el control de la calidad la aplicación de técnicas y esfuerzos para mantener y mejorar la calidad de un producto o servicio, implica la integración de las siguientes actividades y técnicas¹:

1. Especificación de qué se necesita.

¹ Dale H. Besterfield, Control de Calidad, Cuarta edición, página 2

2. Diseño del producto o servicio de manera que cumpla con las especificaciones.
3. Producción o instalación que cumpla cabalmente con las especificaciones.
4. Inspección para cerciorarse del cumplimiento de las especificaciones.
5. Revisión durante el uso a fin de allegarse de información que, en caso de ser necesario, sirva como base para modificar las especificaciones.

b. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad a diferencia del control, requiere un planeamiento de las actividades que garanticen que un determinado producto o servicio satisfaga determinados requisitos de calidad; a ello también se le conoce como “garantía de la calidad”. Para lo cual, es necesaria una evaluación continua y responsable de la efectividad del sistema de calidad.

El aseguramiento de la calidad requiere de organización y documentación de todos los aspectos que pudieran influir en la calidad del producto. Ello da estabilidad al mercado y genera confianza en los negocios. Es por ello que la normalización de la forma en que se asegura la calidad es importante para la apertura de mercados.

La serie ISO 9000 como conjunto de normas orientadas a ordenar y mejorar la gestión de las empresas tiene reconocimiento internacional y abre las puertas a mercados importantes con demandas solventes.

En las empresas, los grupos de aseguramiento de la calidad participan en la revisión de los productos previamente seleccionados para evaluar su conformidad a los procedimientos, normas o criterios especificados. Para ello elaboran un plan de aseguramiento de la calidad que tendrá como función el identificar las posibles desviaciones a los estándares aplicados y comprobar si se han llevado a cabo las medidas preventivas o correctoras necesarias¹.

La calidad asegurada debe estar alienada con los objetivos estratégicos de la empresa u organización. La tendencia es gestionar la estrategia y no la táctica en el mundo empresarial donde menos significa más.

La ilustración 1.1.2 los procesos, objetivos y resultados de la gestión de la calidad se muestran en la Ilustración de abajo. Son los resultados los que hacen que los clientes del mercado valoren los productos o servicios que las organizaciones ofrecen; es por ello que la calidad asegurada en el tiempo, se convierte en un símbolo estratégico comercial muy atractivo casi indestructible. Casos como Mercedes Benz, Dupont y el Marriot Hotel son un ejemplo de esta afirmación.

Ilustración 1.1.2 Procesos, objetivos y resultados de la gestión de la calidad



Fuente: Calidad estratégica total – Rubén Roberto Rico

¹ Descripción y objetivos del Aseguramiento de la calidad del boletín 297 de la Oficina Nacional de Gobierno Electrónico e Informática (www.ongei.gob.pe)

c. Calidad Total

Un requisito importante para hacer que todo lo anterior mencionado en el control y aseguramiento de la calidad sea realidad, es la flexibilidad. Este factor permite eliminar causas de defectos o modos de falla que se detallaran posteriormente, así como la determinación de vías alternativas de acción para mejorar y asegurar la continuidad de los procesos de negocio.

Para obtener la flexibilidad se requiere llevar la Calidad Total directamente al corazón del sistema, lo que se denomina “el management de las organizaciones”. Una integración de tal magnitud alinea perfectamente el plan estratégico con la gestión de la calidad con las decisiones de negocio; este objetivo supone la participación de los miembros de la empresa y de todos los aspectos relacionados con la organización.

“En calidad total se hace referencia a dos tipos de clientes, los internos y los externos. Los clientes internos son las unidades operativas que proveen productos o servicios. Y dentro de cada unidad funcional cada integrante que participa en los procesos y servicios a otro u otros grupos de empleados. También están incluidos los directores socios y accionistas”¹.

Los clientes externos son aquellos consumidores finales del producto o servicio, los proveedores y las instituciones gubernamentales y no gubernamentales que intervienen en la continuidad del negocio.

Según el Dr. Rubén Roberto Rico en su libro “Calidad estratégica total” la calidad total involucra las siguientes variables:

- ❖ Ambiente propicio: Una cultura uniforme compartida por toda la organización.
- ❖ Management: El corazón del sistema que busca la productividad.
- ❖ Empleador: Formaliza un compromiso sólido con el personal, motivándolo y reconociéndole sus esfuerzos.
- ❖ Proceso y herramientas del sistema: Formación del sistema y aporte de pasión para mejorarlo y mantenerlo.

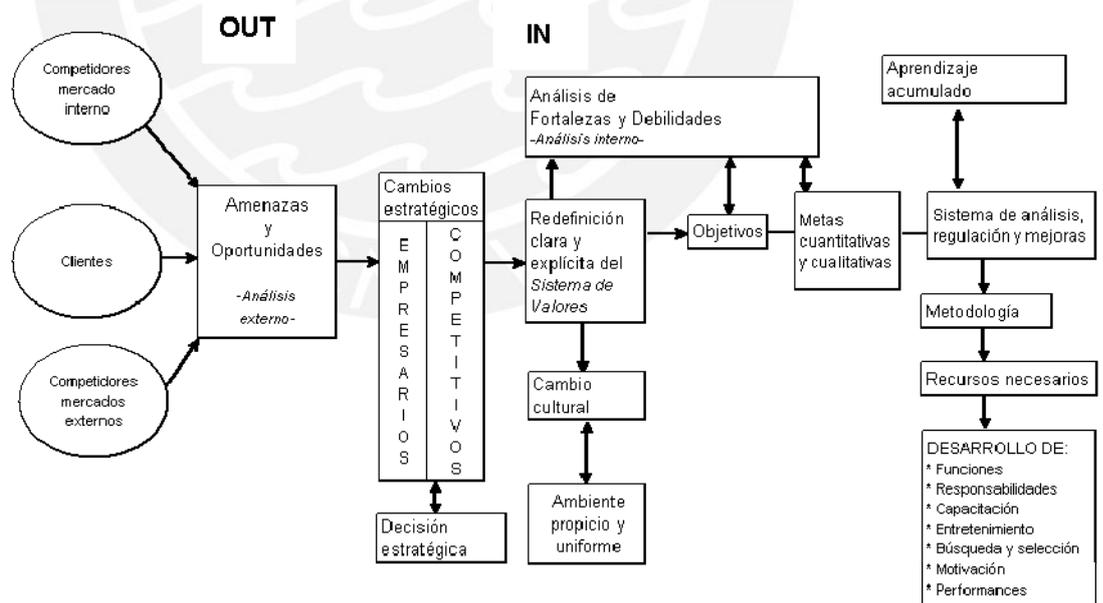
¹ Calidad estratégica total: Total quality management, Doctor Rubén Roberto Rico, Ediciones Macchi, Buenos Aires – Argentina, página 4.

- ❖ Planeamiento y control estratégico: Cambio en la estrategia empresarial y competitiva para medir el desempeño y hacer mejoras continuas.
- ❖ Proveedores: Cadena de valor a lo largo del proceso.
- ❖ Personal: Lealtad, identificación y colaboración permanente
- ❖ Consumidor: Debe ser planificado y protagonista en el diseño de la Calidad Total.

Tomar la decisión estratégica de incorporar la Calidad Total en la organización luego de analizar las amenazas y oportunidades globales y específicas, significa redefinir el sistema de valores, es decir, hacer un cambio de tipo cultural y uniforme. Es a partir del establecimiento de valores cuando se efectúa el análisis sobre la interrelación y adecuación de las fortalezas y debilidades.¹

La interacción de las variables arriba mencionadas da como resultado el proceso de in-out de la gestión de la calidad total.

Ilustración 1.1.3 Proceso in-out de la gestión de la calidad total



Fuente: Calidad estratégica total – Rubén Roberto Rico

¹ Calidad estratégica total: Total quality management, Doctor Rubén Roberto Rico, Ediciones Macchi, Buenos Aires – Argentina, páginas 37-40.

1.2 Metodología seis sigma: DMAIC

“La cada vez mayor exigencia de los mercados y la velocidad de los negocios hacen que el crecimiento signifique la supervivencia ante factores externos cambiantes que definen la estrategia de las organizaciones. Este crecimiento a su vez, está determinando por la satisfacción del cliente que está regido por la calidad, el precio y el resultado”. (Dr. Michael J. Harry, Six Sigma Academy)

“La calidad, el precio y el resultado están controlados por la capacidad del proceso, que a su vez está limitado por la variación, la cual conduce a un incremento en los defectos y un encarecimiento del proceso. Para eliminar la variación debemos aplicar el conocimiento correcto y para ellos debemos adquirirlo, pero para ello debemos tener la voluntad de sobrevivir”. (Dr. Michael J. Harry, Six Sigma Academy)

Six Sigma es una estrategia global y a la vez es una medición de estrategias que genera ruptura en los negocios. Desarrollada por el ingeniero y científico Bill Smith en Motorola en el año 1987, Six Sigma se vuelve una estrategia de negocios con una capacidad de acelerar mejoras en procesos, productos y servicios que es a lo que se denomina ruptura.

En términos estadísticos, Six Sigma se refiere a un proceso que tiene seis (6) desviaciones típicas entre el objetivo y el límite de especificación más cercano. Esta distancia de seis (6) sigmas es lo que permite que la probabilidad de error sea muy baja y el proceso se encuentre asegurado.

Tabla 1.2.1 Defectos de partes por millón de una curva normal estándar

Límite de especificación	Porcentaje (%)	Defectos de partes por millón
+/- 1 sigma	68.27	317,300
+/- 2 sigma	95.45	45,500
+/- 3 sigma	99.73	2,700
+/- 4 sigma	99.9937	63
+/- 5 sigma	99.999943	0.57
+/- 6 sigma	99.9999998	0.002

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la cantidad de defectos de partes por millón se utiliza la distribución normal $N(\mu, \sigma^2)$, que es el modelo probabilístico más utilizado y sirve como una buena aproximación para otras distribuciones importantes.

La distribución de densidad de la Normal es la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \dots (\text{ecuación 1.2.1})$$

Donde,

X: Variable aleatoria con distribución normal

μ : Media aritmética de la población

σ : Desviación Estándar de la población

e: Constante de Neper $\approx 2.7182818284590452354\dots$

La distribución de distribución acumulada $P[X \leq x_1]$:

$$P[X \leq x_1] = \int_{-\infty}^{x_1} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \dots (\text{ecuación 1.2.2})$$

Donde x_1 es un valor nominal de la variable aleatoria X para el cual se quiere encontrar un valor de probabilidad que es representado por el área bajo la curva de la función normal.

Con el propósito de pasar a la función de distribución normal estándar $N(0,1)$, se trabaja con la variable “z” mediante la siguiente fórmula:

$$z = \frac{(x - \mu)}{\sigma} \dots (\text{ecuación 1.2.3})$$

De esta manera, los parámetros adquieren nuevos valores:

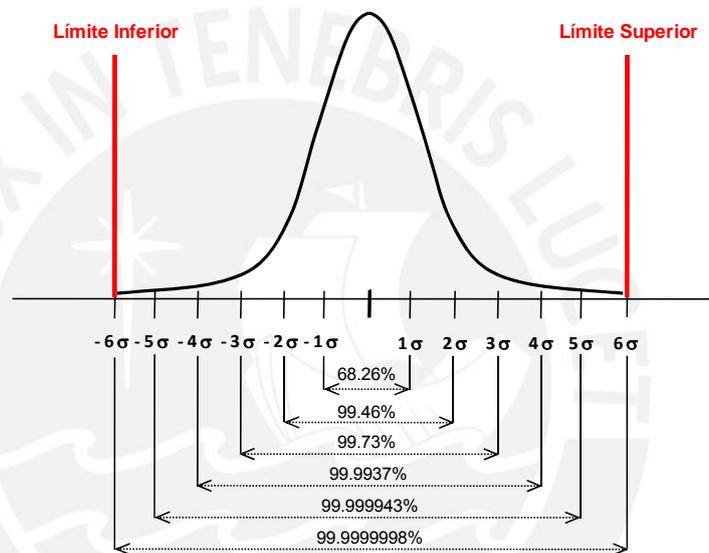
$$\text{Distribución Estándar: } N(\mu = 0, \sigma^2 = 1)$$

Del mismo modo la función acumulada se modifica y a la vez se simplifica:

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt \dots (\text{ecuación 1.2.4})$$

Determinar la capacidad de los procesos usando la distribución normal al evaluar el comportamiento de los valores de sus salidas críticas para la calidad (CTQ), resulta muy útil para la metodología seis sigma, pues teniendo definidas las especificaciones del cliente podemos determinar a cuantas desviaciones se encuentra la media de la especificación establecida, como se puede apreciar en la siguiente ilustración.

Ilustración 1.2.1 Distribución Normal Estándar y límites de tolerancia para el proceso



Fuente: Elaboración Propia

Variando el proceso 1.5 desviaciones estándar obtenemos el siguiente rendimiento:

Tabla 1.2.2 Defectos de partes por millón de una curva normal estándar +/- 1.5 sigma

Límite de especificación	Porcentaje (%)	Defectos de partes por millón
+/- 1 sigma	30.23	697,700
+/- 2 sigma	69.13	308,700
+/- 3 sigma	93.32	66,810
+/- 4 sigma	99.379	6210
+/- 5 sigma	99.9767	233
+/- 6 sigma	99.99966	3.4

Fuente: Elaboración propia

El enfoque de esta metodología es la excelencia operacional, a través de la eliminación de las fuentes de defectos en los procesos con cinco (5) etapas:

- 1) Definir
- 2) Medir
- 3) Analizar
- 4) Mejorar
- 5) Controlar

1.2.1 Etapa Definir

Etapa en la que se define el problema y se describe su valor para el negocio. El objetivo de esta fase es el de encontrar los parámetros críticos para la calidad CTQ (Critical to Quality) involucrados con uno o más objetivos del proceso de negocio, mediante la recolección de los requerimientos del cliente VOC (voice of the customer).

Las actividades involucradas con esta fase son las siguientes:

- a. Definición de los parámetros críticos para la calidad.
- b. Identificación de los clientes externos e internos.
- c. Identificación y definición de qué va a ser mejorado.
- d. Estimación del costo de no hacer ninguna mejora: CODND (Cost of Doing Nothing Differently)
- e. Desarrollar mapas de proceso.

Algunas herramientas comúnmente usadas en esta etapa son:

- ❖ QFD (Quality Function Development): El despliegue de la función de la calidad es un sistema que busca focalizar el diseño de un producto o servicio a la satisfacción de las necesidades de los clientes, al darles a estas una prioridad de su intervención en el desarrollo del diseño. Sin embargo, en algunos casos basta con un formato de cuestionario que provea de un mapa porcentual de respuesta de los clientes (Urban and Hasser format).
- ❖ SIPOC (Suppliers, Input, Process, Output and Customers): Es un diagrama de flujo de proceso que ayuda identificar

elementos relevantes en la mejora de los procesos antes que estas inicien.

- ❖ **Matriz Causa-Efecto:** Es una tabla de doble entrada que relaciona los requerimientos de los clientes (Que(s)) con los procesos del negocio (Como(s)) con el fin de priorizar de dar enfoque al proyecto six sigma priorizando los procesos a mejorar y los requerimientos atacar.

1.2.2 Etapa Medir

El objetivo de esta etapa es el desarrollo de un confiable sistema de medición del proceso de negocio identificado en la etapa Definir; para ello se identifican las medidas claves del proceso que son a su vez salidas relevantes del negocio KPOV's (Key Process Output Variables) o Ys. Una vez identificadas las salidas del proceso se definen los defectos de dichas salidas y se valida el sistema de medida KPOV.

Se debe tomar en cuenta al realizar los sistemas de medidas de los KPOV que estas salidas pueden ser:

- **Continuas:** Medidas a una escala continua como es el caso de la presión, la temperatura, cantidades monetarias, etc.
- **Discretas:** Medidas como números enteros como los días, elementos o eventos.
- **Cualitativas:** Medidas no numéricas que califican un bien o servicio.

Para cada salida (KPOV) correspondiente a los parámetros críticos para la calidad (CTQ) definidos en la etapa anterior, se establece una línea de base de su actual capacidad; para ello se debe encontrar su tasa de defectos para obtener el DPMO (Defectos por millón de oportunidades), PPM (Partes por millón) o Nivel Sigma.

Para ello se requiere conocer la siguiente nomenclatura:

- Defecto(s) = D

- Unidad = U
- Oportunidades por un defecto = O
- Rendimiento = Y

Se requiere conocer también las siguientes relaciones básicas:

- Total de oportunidades: $TOP = U \times O$
- Defectos por unidad: $DPU = D / U$
- Defectos por oportunidad: $DPO = DPU / O$
- Defectos por millón de oportunidades: $DPMO = DPO \times 10^6$
- Las relaciones del concepto de rendimiento son las siguientes:
- Rendimiento de salida: $Y_{TP} = e^{-DPU}$; donde Y es la probabilidad de cero defectos y la ocurrencia de los defectos es una variable con distribución Poisson:
- $Y = P(x = 0) = e^{-\lambda} \lambda^x / x! = e^{-\lambda} = e^{-D/U} = e^{-DPU} \dots$ (ecuación 1.2.2.1)
- Defectos por unidad: $DPU = -\ln(Y_{TP}) \dots$ (ecuación 1.2.2.2)
- Rendimiento encadenado: $Y_{RT} = \prod Y_{TPi}$
- Total de defectos por unidad: $TDPU = -\ln(Y_{RT})$

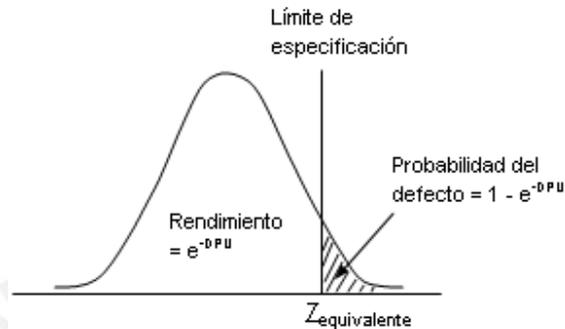
La distribución Poisson puede ser usada para estimar la variable Z que se distribuye de forma normal estándar $N(0;1)$ para los defectos por unidad (DPU). Obteniéndose las siguientes relaciones:

- $Z_{equivalente} = Z - N(0;1) = Z_{LT}$
- Z corto plazo: $Z_{ST} = Z_{LT} + 1.5_{shift}$

Donde $Z_{ST} = 6$ sigma y $Z_{LT} = 4.5$ sigma¹

¹ Z_{ST} es el proceso a corto plazo donde la calidad es seis (6) sigma; sin embargo, la variación de 1.5 sigmas nos lleva al valor Z_{LT} de largo plazo donde existe la variación

Ilustración 1.2.2.1 Rendimiento de una salida del proceso (KPOV)



Fuente: Elaboración Propia

Para medir el rendimiento del proceso y determinar su línea de base, se tienen otros indicadores aparte del nivel sigma. Estos son la capacidad del proceso (C_p o C_{pk}) y el rendimiento del proceso (P_p o P_{pk}). Sin embargo, antes de ahondar en estos indicadores, se debe comprender los siguientes conceptos:

1. Variación inherente al proceso: Porción de la variación del proceso como consecuencia de causas comunes. Esta variación es estimada en cuadros de control por \bar{R}/d_2 .

Donde \bar{R} es el promedio de rangos y d_2 es una constante

2. Variación total del proceso: Es la variación como consecuencia de causas comunes y especiales. Esta variación es estimada por la desviación muestral (s)

Donde “s” es igual a:

$$\sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

La capacidad del proceso se mide por desviaciones inherentes al proceso, mientras que el rendimiento del proceso se mide con desviaciones totales.

Según la AIAG (Automotive Industry Action Group) estos indicadores se definen de la siguiente forma:

- C_p : Índice de capacidad que se define como el ancho de tolerancia dividido por la capacidad del proceso sin tomar en cuenta el centro.
- C_{pk} : Índice de capacidad que toma en cuenta el centro del proceso, escogiendo la distancia entre la media y la especificación más cercana a ella.
- P_p : Índice de rendimiento que se define como el ancho de tolerancia dividido por el rendimiento del proceso sin tomar el cuenta el centro del mismo. Por lo general, es expresado como el ancho de tolerancia dividido por seis (6) veces la desviación muestral. Es usado para compararlo con el C_p .
- P_{pk} : Índice de rendimiento que toma en cuenta el centro del proceso y debe ser usado para compararlo con el C_{pk} .

El objetivo de encontrar la línea de base de las capacidades de los KPOV's en la fase medir, es determinar el denominado "entitlement" o rendimiento deseado del proceso (mejor nivel sigma) que se debe ser capaz de lograr.

Encontrada la línea de base y un sistema de medición (Véase Anexo N° 1) se puede inferir las causas de la variación de las variables de salida con una tormenta de ideas ordenadas en un esquema de causa-efecto como el diagrama de espina de pescado del profesor Doctor Kaoru Ishikawa. En su elaboración se toma en cuenta de seis (6) espinas:

1. Máquina: Dispositivos, herramientas y todo tipo de aparato que interviene en el proceso.
2. Persona: Personal que se encuentra directa e indirectamente relacionado al trabajo.
3. Medición: Cómo se miden las variables claves de salida del proceso.

4. Método: Forma o manera del desarrollo de las actividades u operaciones.
5. Ambiente: Factores externos no controlables que generan ruido del proceso
6. Material: Insumos o materia prima.

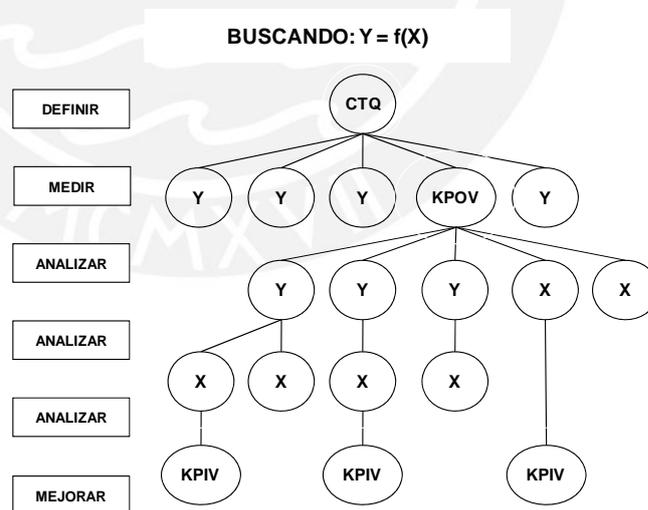
A las causas de la variación que se encuentren se denominarán variables claves de entrada (KPIV: Key Process Input Variable).

1.2.3 Etapa Analizar y Mejorar

El objetivo del análisis es identificar las variables claves de entrada al proceso KPIV's (Key Process Input Variables) que hacen efecto directo a las variables claves de salida KPOV's que se desea controlar para mejorar el negocio.

Durante el análisis se irán identificando las causas del actual rendimiento de las variables de salida, determinado en la etapa de medición del proceso.

Ilustración 1.2.3.1 Relación entre las entradas KPIV's y las salidas KPOV's



Fuente: Elaboración Propia basado en JCFM / IC-PUCP 2006

En la primera etapa de la identificación de las variables de entrada claves del proceso se comienza con tormentas de ideas, mapeos, espigas de pescado y matrices causa-efecto.

Luego de un análisis cualitativo se utilizan herramientas estadísticas para identificar claramente las variables de entrada (KPIV's) e identificar los "n" componentes de variación de las variables de salida.

Los componentes de variación para un proceso de manufactura podrían ser el material, las máquinas, el operador o el sistema de medición; sin embargo, para el caso de los procesos de negocio o servicios los componentes de variación podrían ser el día del mes de iniciación de las actividades, la calidad de la información, entre otros.

Para identificar las fuentes de variabilidad y analizar, priorizar y documentar los modos de falla potenciales, sus efectos sobre el sistema, producto, rendimiento del proceso y las causas posibles del fallo existe un método sistemático denominado AMFE (Análisis de Modos de Fallo y sus Efectos) que permite calificar bajo tres (3) factores, los modos de falla que afectan al negocio: Ocurrencia, Severidad y Detección.

De esa forma se obtiene el Índice de Prioridad de Riesgo (RPN), el cual después de aplicar las mejoras correspondientes debe reducirse. Si bien el análisis cualitativo proporciona enfoque; no es suficiente para poder analizar a cabalidad el proceso y sus resultados (Y's), es por ello que se requiere del análisis cuantitativo para medir el efecto de los parámetros del proceso (x's) sobre los del producto (y's).

Los métodos de prueba a utilizar dependerán fundamentalmente de los tipos de variables de entrada y salida que se quieran evaluar, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1.2.3.1 Matriz de selección de método de prueba

Tipo de variable	Y: Atributo	y: Continua
X : Atributo	Chi Cuadrado	ANOVA
X: Continua	Regresión Logística	Regresión Lineal

Fuente: Curso Black Belt American Society for Quality 2001

En el caso de los servicios, existe una necesidad constante de determinar la tasa de llegada de los clientes para poder administrar los recursos del servicio. Para ello, se elaboran modelos en los cuales las

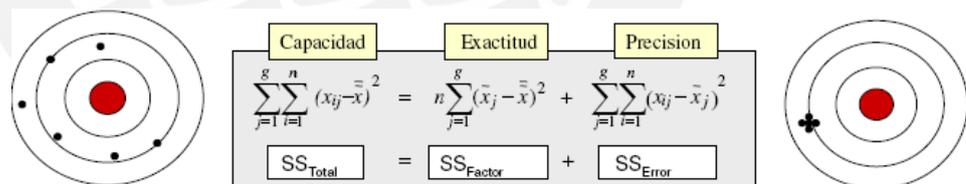
variables de entrada son atributos como por ejemplo, horas, días, semanas y/o meses, y las variables de salida son una determinada cantidad de personas.

En caso se estudie la tasa de llegada de un cliente a un sistema, si la cantidad de datos dentro de un intervalo es mayor a diez (10), luego la data inicialmente discreta se vuelve pseudo continua, por lo que en vez de la prueba Chi cuadrado se puede utilizar el análisis de varianza (ANOVA) para observar la variación durante el día, y un ANOVA de dos vías para observar la variación en la tasa de llegada del cliente de un día a otro durante la semana.

En principio, el análisis de varianzas es una generalización de la Prueba t para las medias de dos muestras, que permite comprobar la significación estadística de las diferencias entre las medias de “k” diferentes muestras.

La capacidad, exactitud y precisión son valores del análisis de varianzas que se miden para determinar la variación entre parejas de factores y de la propia variación dentro de cada una de ellos. Dichos valores se muestran en la siguiente ilustración.

Ilustración 1.2.3.2 Suma de cuadrados en ANOVA



Fuente: Curso Black Belt American Society for Quality 2001

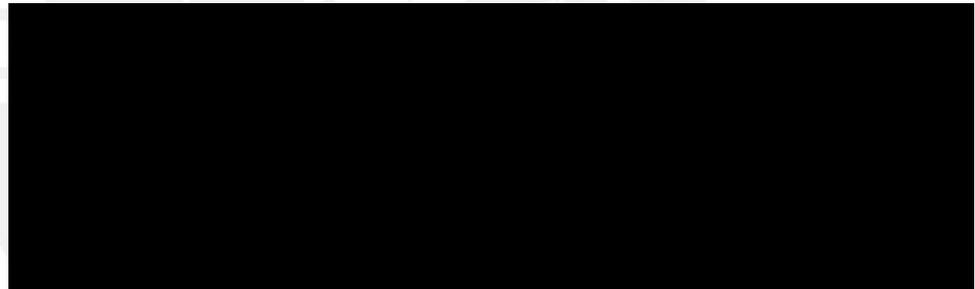
Donde las sumas de cuadrados son las siguientes:

- SS_{TOTAL} = Suma Total de Cuadrados del Experimento (Valores individuales – Media Global)
- SS_{FACTOR} = Suma Total de Cuadrados del Factor (Media del Grupo – Media Global)
- SS_{ERROR} = Suma Total de Cuadrados en el Grupo (Valores individuales – Media del Grupo)

Para la construcción de la Tabla ANOVA es necesario determinar lo siguiente:

1. Los grados de libertad (DF) representan el número de conclusiones independientes que se pueden extraer de los datos.
2. El Error Cuadrático Medio (MSE) es el SS_{ERROR} dividido por el número de grados de libertad (DF) del error.
3. F es la relación de la varianza entre factores a la varianza dentro de cada factor = MS/MSE .
4. P es la probabilidad que la diferencia observada se deba al azar (error de muestreo). Un valor de P pequeño (<0.05) indica que existe diferencia y que H_0 debe rechazarse.

Tabla 1.2.3.2 ANOVA de una vía



Fuente: Elaboración Propia

Identificadas las variables claves de entrada (KPIV's), se encuentra la relación $Y = f(Xs)$ y sobre ello se proponen soluciones y luego se validan.

Según el Ph. D Alastari Muir, en su libro Lean Six Sigma Statistics, cuando se examinan las tasas de llegada más de un factor como las horas del día y los días de la semana afectan individualmente y en su interacción las tasas de llegada. Para poder identificar mejor las tasas de llegada se puede utilizar el Modelo General Lineal (GLM) que es considerado como la versión más flexible de ANOVA.

Otra ventaja de usar el modelo general lineal para examinar la data es que los coeficientes de la ecuación ajustada pueden ser usados para generar predicciones dando valores de los factores.

En el Anexo N° 2 se puede apreciar la variación positiva del precio de las acciones de cuatro (4) compañías que implementaron la metodología Six Sigma a los procesos de sus principales líneas de negocio. El valor ganado entre el 2000 y 2002 es muy superior al promedio mundial (S&P 500).

Es interesante resaltar que Six Sigma funciona muy bien en empresas no manufactureras como lo es el Bank of America (BAC), cuando adicionalmente a ello se le agrega el pensamiento Lean como veremos en la siguiente sección.

1.3 Lean-seis sigma

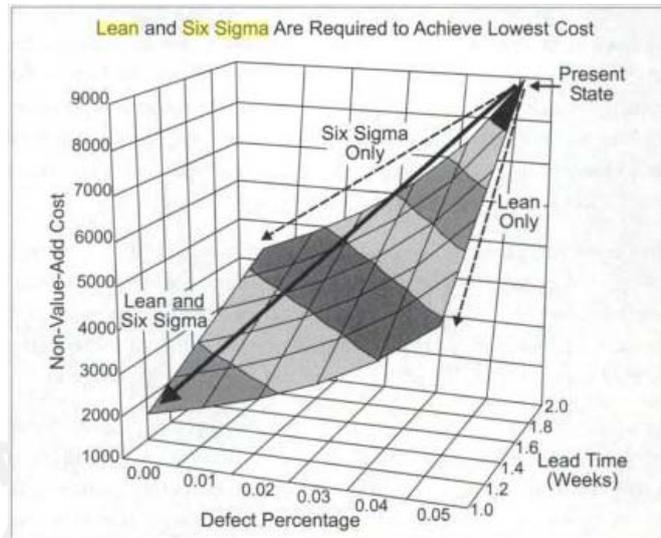
Las operaciones de servicio ahora comprometen más que el 80% del PBI en los Estados Unidos y están rápidamente creciendo alrededor del mundo. Aún dentro de las compañías manufactureras, es común que sólo el 20% de los costos de venta, mientras que el 80% proviene de los costos que son asociados con el soporte y diseño de funciones. (Lean Six Sigma for Service, Michael George, McGraw-Hill, 2003, Estados Unidos)

Existen tres (3) verdades fundamentales:

1. Volverse rápido puede verdaderamente mejorar la calidad.
2. Mejorar calidad puede verdaderamente volverte más rápido.
3. Reducir la complejidad mejora la velocidad y calidad

Sin embargo, mejorar la velocidad y la calidad sólo ocurre si se aplica el pensamiento Lean y la metodología sistemática Six Sigma como muestra la Ilustración 1.3.1.

Ilustración 1.3.1 Sólo Lean + Six Sigma = Costos bajos



Fuente: Lean Six Sigma for Service - George Michael

Los procesos de servicios son por lo general procesos lentos, lo cuales son procesos costosos y de poca calidad. La principal razón de ello es que existe mucho trabajo en proceso; ello se debe a que existe excesiva complejidad.

Cuando existe excesivo trabajo en proceso, el servicio puede gastar más que el 90% en tiempo en espera que no genera valor agregado; por lo que para un proceso lento, el 80% de su tiempo es causado por menos del 20% de sus actividades; entonces para mejorar un proceso sólo tenemos que encontrar y mejorar la velocidad del 20% de las etapas del proceso que afectarán en 80% la reducción del ciclo de trabajo.

Cada disciplina tiene su propio lenguaje; para el caso del pensamiento Lean existen los siguientes términos:

1. Tiempo de entrega (Lead Time): Significa el tiempo que toma hacer entrega del servicio o producto una vez que esta ha sido solicitado y se mide por la siguiente ecuación conocida como Little's Law (demostrada por el profesor del MIT John Little):

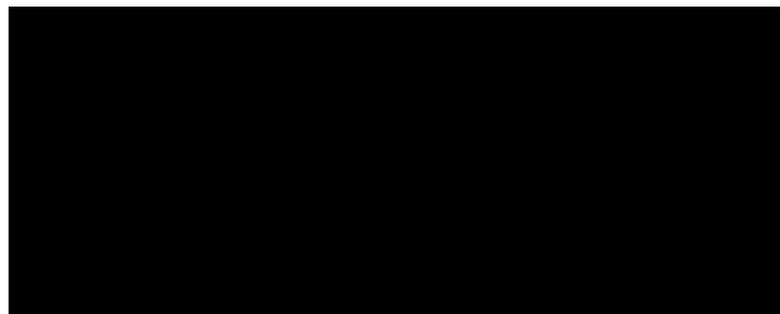
$$\text{Lead Time} = \frac{\text{Trabajo en proceso (WIP)}}{\text{Ratio de completación}} \quad \dots(\text{ecuación 1.3.1})$$

La ecuación 1.3.1 nos dice que el tiempo que tomará completar el trabajo mediante el conteo de cuantos trabajos esperan ser completado y cuantos podemos completar por un determinado periodo de tiempo (hora, día, semana, etc).

2. Trabajo en proceso (WIP): El término debe ser entendido para todo tipo de elemento que solicita un servicio del negocio. Puede ser desde piezas en una línea de producción manufacturera hasta llamadas telefónicas por devolver en una oficina administrativa.
3. Espera: Tiempo en que una solicitud de trabajo permanece en cola.
4. Valor agregado y valor no agregado: Al estudiar el flujo del trabajo pronto se observan actividades que a los ojos del cliente genera valor añadido al servicio. Si los clientes podrían rechazar el pagar por alguna actividad del flujo normal del proceso se les diera la elección, entonces aquella actividad no genera valor agregado.
5. Eficiencia del proceso: Una métrica determinante para el desperdicio de cualquier proceso de un servicio es el porcentaje del total de tiempo de ciclo que forman las actividades con valor agregado.
6. Desperdicio: Puede ser expresado de diversas formas –tiempo, costos, trabajo- y no genera valor agregado al proceso. Se entiende también como una compensación de las debilidades internas de las organizaciones.

En los servicios es común encontrar que más del 50% de las actividades que conforman sus procesos no generan valor agregado.

Tabla 1.3.1 Ciclos de Eficiencia



Fuente: Elaboración propia (Traducción de la Tabla 2.1: Cycle Efficiencies del libro Lean Six Sigma for Services de George Michael)

Six Sigma provee de robustas soluciones para problemas que el pensamiento Lean no puede ayudarnos a generar, por ejemplo, al momento de pre-escribir una cultura e infraestructura para generar mejoras en toda la organización.

Lean encuentra serios problemas al momento de pre-escribir una cultura, debido a que su aplicación depende básicamente de iniciativas individuales; a diferencia de la metodología sistemática Six Sigma que provee de una cultura para las compañías y su aplicación se realiza de forma integral.

Si bien el pensamiento Lean ayuda a identificar las actividades que generan valor agregado ante los ojos del cliente, no pone a este último en el centro del estudio ni a lo largo del desarrollo de la mejora. Ello le resta poder para identificar oportunidades con parámetros críticos para la calidad que incluye la voz del cliente. Six Sigma, por el contrario coloca a la voz del cliente a lo largo del desarrollo de las mejoras.

Lean no reconoce el impacto de la variación en el desarrollo de las mejoras en los procesos y por lo tanto, la calidad y la capacidad del proceso queda descuidada.

En conclusión, ambas disciplinas se necesitan una a la otra para generar el impacto en reducción de costos que no generan valor agregado al negocio, y de esa forma hacer más rentable al negocio

1.4 Simulación de sistemas discretos

En los sistemas discretos las variables de estado cambian de valor en momentos instantáneos de tiempo. Para poder simular dichos sistemas, se debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

1. Entidades: Objetos dinámicos que se mueven a través del sistema y les es proporcionado un servicio.
2. Atributos: Características que describen una determinada entidad.
3. Variables de estado: Información que muestra una característica del sistema en un determinado instante de tiempo.

4. Recursos: Objetos estáticos que proporcionan servicio a los objetos dinámicos.
5. Cola: Conjunto de entidades esperando ser atendidas por un recurso del sistema.
6. Eventos: Serie de acontecimientos que provocan un cambio en las variables de estado del sistema.
7. Reloj de simulación: Contador de tiempo en intervalos discretos.
8. Disciplina de la cola: Política de prioridades para la asignación de recursos: FIFO, LIFO, SPT, etc.
9. Actividad: Suceso con un determinado tiempo conocido.
10. Demora: Suceso con duración desconocida provocado por la combinación de las condiciones del sistema.

1.4.1 Proceso de llegada: Creación del proceso de Poisson

El proceso de poisson es un ejemplo de una clase de procesos estocásticos conocidos como procesos de conteo, los cuales tienen como función representar el acumulativo de número de eventos que han ocurrido en un determinado instante de tiempo. (Queueing Methods for Services and Manufacturing, Randolph W. Hall)

El proceso de Poisson es un proceso de conteo que se aplica a llegada de clientes a un sistema. Su definición depende de lo siguiente:

- ❖ Incrementos independientes si los números de eventos son estadísticamente independientes.
- ❖ Incrementos estacionarios si la distribución de los números de eventos en cualquier intervalo de tiempo depende sólo de la longitud del intervalo de tiempo y no cuando el intervalo ocurre.

$N(t)$ es un proceso de Poisson con ratio λ si:

$$Pr[N(t + dt) - N(t)] \begin{cases} = 0 \\ = 1 \\ > 1 \end{cases} = \begin{cases} 1 - \lambda dt \\ \lambda dt \\ 0 \end{cases} \quad \dots \text{ecuación 1.4.1.1}$$

Donde, dt es un diferencial de tiempo de intervalo.

1.4.2 Proceso de llegada: Distribución Poisson

La distribución de Poisson es una distribución de probabilidad discreta que se genera a partir del proceso de Poisson. Su variable aleatorio está limitada a los enteros no-negativos. La distribución de Poisson gana ese nombre debido a que es la distribución de probabilidad para el número de arribos dentro de cualquier periodo de tiempo de un proceso de Poisson.

La forma matemática de la función de distribución de probabilidad con media " λt " es la siguiente:

$$f(x) = \frac{(\lambda t)^x}{x!} e^{-\lambda t} \quad x = 0, 1, 2, \dots \text{ecuación 1.4.1.2}$$

$F(t)$ especifica la probabilidad de que una variable aleatoria ocurra bajo un determinado valor de x .

$$F(x) = \sum_{n=0}^x f(n) = \sum_{n=0}^x \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad x = 0, 1, 2, \dots \text{ecuación 1.4.1.3}$$

Las características de la distribución Poisson:

1. Es una distribución discreta y definida sobre enteros no negativos.
2. Valor esperado es igual a la media
3. Varianza igual a la media
4. Para $x = 0$, $F(x) = e^{-\lambda t}$

1.4.3 Tiempo entre llegadas: Distribución Exponencial

La distribución de probabilidad exponencial es una distribución continua muy relacionada a la distribución discreta Poisson, que en vez de estudiar el número de llegadas en un intervalo de tiempo, estudia el tiempo entre llegadas y como toda variable continua y aleatoria tiene una función de probabilidad de densidad que expondré junto con las siguientes propiedades:

- ❖ La distribución exponencial es continua y definida sobre números reales no-negativos.

- ❖ La función de probabilidad se define de la siguiente forma:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad x > 0 \dots \text{ecuación 1.4.3.1}$$

- ❖ Su función de probabilidad acumulada se define de la siguiente forma:

$$F(x) = \int_0^x \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 - e^{-\lambda x} \quad x \geq 0 \dots \text{ecuación 1.4.3.2}$$

La distribución exponencial tiene las siguientes características:

- ❖ $E(x) = \frac{1}{\lambda} \dots \text{ecuación 1.4.3.3}$

- ❖ $V(X) = \frac{1}{\lambda^2} = E^2(X) \dots \text{ecuación 1.4.3.4}$

La distribución exponencial es una derivación de la distribución gamma cuya función se denota por Γ y se define por:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \dots \text{ecuación 1.4.3.5}$$

Donde α es un número real positivo. Sin embargo, si α es igual a un número entero: $n \geq 1$, entonces: $\Gamma(n) = (n-1)!$

La variable aleatoria continua X tiene distribución gamma, con parámetros α , β y se representa por $X \sim \Gamma(\alpha, \beta)$, si su función de densidad es:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}, & \text{si } x \geq 0 \dots \text{ecuación 1.4.3.6} \\ 0, & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

Donde α y β son constantes positivas.

Las características de esta distribución son las siguientes:

- ❖ $E(X) = \frac{\alpha}{\beta}$

$$\diamond f(x) = \frac{\alpha}{\beta^{\alpha}}$$

Estudiar las distribuciones de probabilidad de los tiempos entre llegadas, también nos ayudará a probar si un determinado proceso de llegada es Poisson, debido a que para afirmar que se tiene un comportamiento Poisson, se deben probar estadísticamente las siguientes tres (3) hipótesis:

H1: Los tiempos entre llegadas tienen una distribución de probabilidad exponencial.

H2: Los tiempos entre llegadas son independientes.

H3: Los tiempos de llegada tienen una distribución uniforme.

1.4.4 Contraste de Bondad de Ajuste

Siendo Y una variable aleatoria con función de distribución F_Y desconocida y se desea contrastar a un nivel α , para lo cual se generan las siguientes hipótesis:

$$H_0 : F_Y = F_0 \text{ vs. } H_1 : F_Y \neq F_0 \dots \text{ecuación 1.4.4.1}$$

Donde F_0 es una función de distribución conocida y para realizar dicho contraste se toma una muestra aleatoria Y_1, Y_2, \dots, Y_n de Y y con sus valores observados se construye una distribución de frecuencias con k intervalos.

Cada intervalo tiene un ancho de valor "A" y una marca de clase \hat{x}_i o punto medio del i -ésimo intervalo.

Donde:

$$A = \frac{\text{Max.Valor Observado} - \text{Min.Valor Observado}}{k \text{ intervalos}}$$

De esa forma se construye la siguiente distribución de frecuencias con “k” intervalos:

Intervalo	Marca de Clase	Frecuencia Observada
	\bar{x}_i	o_i
$[a_0, a_1]$	\bar{x}_1	o_1
$[a_1, a_2]$	\bar{x}_2	o_2
...
$[a_{k-1}, a_k]$	\bar{x}_k	o_k
		n

La cantidad de intervalos se puede determinar mediante la fórmula de Sturges, donde “k” es el número de intervalos:

$$k = 1 + 3.3 \times \log_{10}(n)$$

Si definimos a la variable aleatoria X_i = número de elementos de la muestra aleatoria de tamaño “n” de Y que caen en el i-ésimo intervalo, y a p_i como la probabilidad de que Y pertenezca al i-ésimo intervalo; podemos utilizar la siguiente distribución multinomial:

$$(X_1, X_2, \dots, X_k) \sim \text{Mul}(n, p_1, \dots, p_k)$$

Siendo:

$$p_i = P(Y \text{ pertenezca al } i - \text{ésimo intervalo}) = F_Y(a_i) - F_Y(a_{i-1})$$

Dadas estas relaciones, si probamos la siguiente hipótesis H_0 , podemos probar la hipótesis de la ecuación 1.4.4.1 de la siguiente manera:

$$H_0: (X_1, X_2, \dots, X_k) \sim \text{Mul}(n, p_1^0, \dots, p_k^0) \dots \text{ecuación 1.4.4.2}$$

La hipótesis H_0 se contrasta con la hipótesis H_1 que nos dice que la función desconocida F_Y no es igual a la función conocida F_0 a un nivel α , al afirmar que la probabilidad de que Y se encuentre en el i -ésimo intervalo " p_i " no es igual a la calculada por la distribución conocida F_0 p_i^0 .

$$H_1: (X_1, X_2, \dots, X_k) \sim \text{Mul}(n, p_1, \dots, p_k) \text{ con } p_i \neq p_i^0 \dots \text{ecuación 1.4.4.3}$$

Siendo:

$$p_i^0 = F_0(a_i) - F_0(a_{i-1})$$

Para decidir rechazar o no rechazar la hipótesis nula H_0 definiremos una región crítica RC con la prueba Ji-Cuadrado o Chi-Cuadrado.

Para lo que definiremos la frecuencia esperada como se muestra a continuación:

$$E_i^0 = np_i^0$$

Por lo tanto, rechazaremos a H_0 con nivel α si:

$$RC: \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i^0)^2}{E_i^0} > \chi_{1-\alpha}^2(k-1) \dots \text{ecuación 1.4.4.4}$$

Si la función conocida F_0 dependiera de " r " parámetros desconocidos tendríamos que redefinir la región crítica RC para la prueba Ji-Cuadrado de la siguiente manera:

$$RC: U_0 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i^0)^2}{E_i^0} > \chi_{1-\alpha}^2(k-r-1) \text{ ecuación 1.4.4.5}$$

Los " r " parámetros desconocidos pueden estimarse por el método de la máxima verosimilitud.

1.4.5 Teoría de Colas

La teoría de colas es el estudio matemático de modelos de cola que analizan los siguientes factores:

1. Tiempo promedio que cada cliente u objeto permanece en cola
2. Longitud de cola promedio
3. Tiempo promedio que cada cliente permanece en el sistema o servicio (tiempo de espera + tiempo de servicio).
4. Número de clientes promedio en el sistema.
5. Probabilidad de que el servicio se quede vacío
6. Factor de utilización del sistema
7. Probabilidad de la presencia de un específico número de clientes en el sistema.

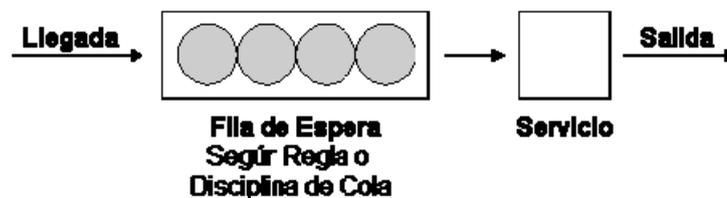
Probablemente el modelo de cola más simple y conocido es el M/M/1, donde la primera M significa que el proceso de llegada es Markoviano, lo que significa que los tiempos entre llegadas son independientes y se distribuyen exponencialmente; la segunda M es para la distribución de los tiempos de servicios, la cual es también exponencial.

El número "1" nos indica que sólo hay un servidor y el tiempo en cola se obtiene de la siguiente fórmula:

$$\frac{\mu_S^2}{\mu_A - \mu_S} \dots \text{ecuación 1.1.6}$$

Donde μ_A es el valor esperado de la distribución de los tiempos entre llegadas y μ_S es el valor esperado de la distribución de los tiempos de servicio. Se asume para esto que $\mu_A > \mu_S$.

Ilustración 1.4.5.1 Esquema de modelo de cola



Fuente: Elaboración Propia

Existen los siguientes modelos de colas:

1. Con población infinita y un servidor (M/M/DG/∞/∞)

2. Con cola de espera finita y un servidor ($M/M/1/DG/K/\infty$)
3. Con población infinita y varios servidores ($M/M/s/DG/\infty/\infty$)
4. Cola de espera finita y varios servidores ($M/M/s/DG/K/\infty$)
5. Con población finita y un servidor ($M/M/1/DG/N/N$)
6. Con población finita y varios servidores ($M/M/s/DG/N/N$)
7. Con distribución de servicio desconocida para un servidor ($M/G/1/DG/\infty/\infty$)
8. Con distribución de servicio Erlang para un servidor ($M/E_k/1/DG/\infty/\infty$)
9. Con disciplina de prioridades y sin prioridad adquirida
10. Con disciplina de prioridades y con prioridad adquirida
11. Redes de colas con colas infinitas en serie: Por propiedad de equivalencia, cada instalación de servicio se puede analizar usando modelos ($M/M/1/DG/\infty/\infty$) o ($M/M/s/DG/\infty/\infty$) de forma independiente.
12. Redes de colas Jackson: Son “m” instalaciones de servicio en donde la instalación “i” ($i = 1,2,3,\dots,m$) tiene una cola infinita, clientes que llegan de fuera del sistema con proceso de Poisson y “s_i” servidores con la misma distribución Exponencial para los tiempos de servicio.

1.4.6 Generación de variación aleatoria

En muchas ocasiones encontramos que la demanda de un producto o los tiempos entre llegadas en un modelo de colas tienen un comportamiento impredecible. Por lo general dichas variables son modeladas como variables aleatorias con alguna distribución estadística específica.

Una vez que hemos identificado la distribución estadística adecuada tenemos que generar muestras de dicha distribución para que sean usadas como entradas al modelo de simulación.

Una técnica de simulación muy utilizada es la de Transformación Inversa, la cual se mostrará para la distribución exponencial que se toma del capítulo 8 del libro Discrete-Event Simulation de Jerry Banks, Tercera Edición.

Dicha técnica puede ser usada para cualquier distribución; sin embargo suele ser más útil con funciones de distribución acumuladas. Como se muestra a continuación en los siguientes cuatro (4) pasos:

1. Computar la función de distribución acumulada deseada que en este caso es la exponencial: $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$, $x \geq 0$.
2. Igualamos $F(X) = R$ en el rango de X . Para la distribución exponencial tenemos que $1 - e^{-\lambda x} = R$ en el rango $x \geq 0$.
3. Resolvemos la ecuación $F(X) = R$ para X en términos de R :

$$1 - e^{-\lambda X} = R$$

$$e^{-\lambda X} = 1 - R$$

$$-\lambda X = \ln(1 - R)$$

$$X = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - R) \dots \text{ecuación 1.4.6.1}$$

La ecuación 1.4.6.1 se denomina generador de variación aleatoria para la distribución exponencial y también se escribe de la siguiente manera: $X = F^{-1}(R)$.

4. Se generan números aleatorios uniformes R_1, R_2, R_3, \dots . De esa forma se determinan las variación aleatoria por:

$$X_i = F^{-1}(R_i)$$

Para el caso de la distribución exponencial:

$$X_i = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - R_i) \dots \text{ecuación 1.4.6.2}$$

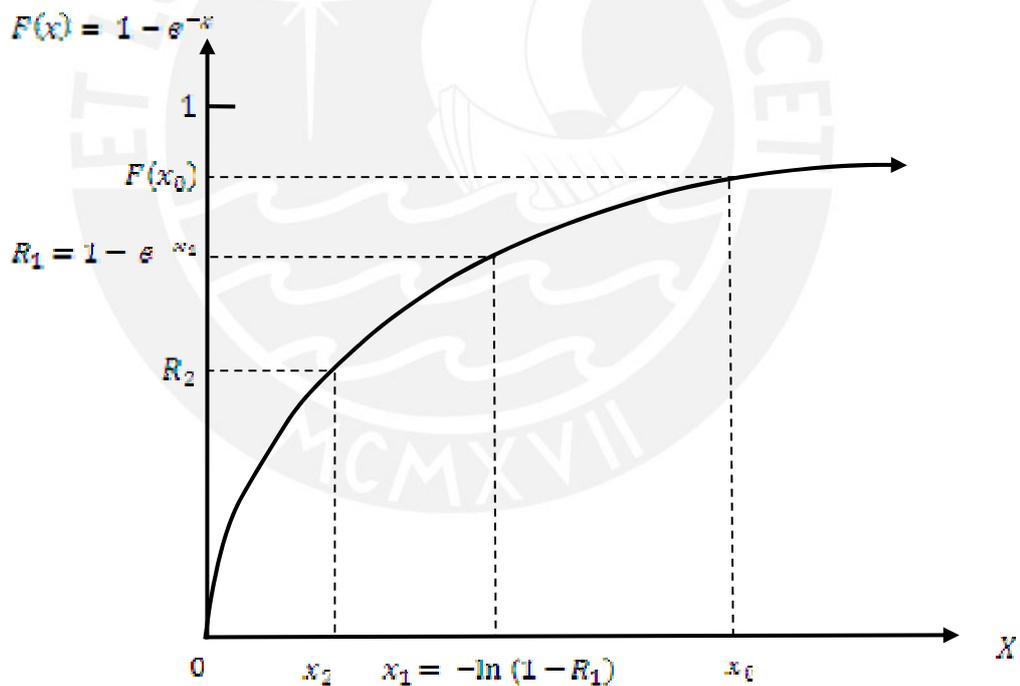
Para $i = 1, 2, 3, \dots$. Existe la posibilidad de hacer una ecuación equivalente, reemplazando $1 - R_i$ por R_i :

$$X_i = -\frac{1}{\lambda} \ln(R_i) \dots \text{ecuación 1.4.6.3}$$

Tanto $1 - R_i$ como R_i se distribuyen uniformemente.

Todo lo dicho hasta ahora de la técnica de transformación inversa se puede ver reflejado en la siguiente Ilustración basada en el la Figura 8.2 del libro Discrete-Event Simulation de Jerry Banks, 3era Edición.

Ilustración 1.4.6.1 Distribución exponencial visto desde la técnica de transformación inversa



Fuente: Elaboración Propia

Los valores de R van de cero (0) a uno (1) y en función de ellos encontraremos los valores de X , que para el caso de la distribución exponencial vienen a ser tiempos entre llegadas.

2 Servicios aeroportuarios

2.1 Tipos de servicios aeroportuarios y sus ámbitos de desarrollo

Los servicios aeroportuarios pueden ser clasificados en:

Principales. Todos aquellos contenidos en el anexo 3 del contrato de concesión del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, los cuales sólo podrán ser realizadas por el operador principal. (Contrato de concesión 1.38; 2.1)

Los servicios principales más importantes son los siguientes:

- ❖ Salvamento y extinción de incendios.
- ❖ Seguridad.
- ❖ Circuito cerrado de TV.
- ❖ Aterrizaje y desagüe.
- ❖ Estacionamiento de aeronaves.
- ❖ Puentes de abordaje.
- ❖ Servicios de aeronavegación.

Secundarios. Los demás servicios, no considerados como servicios u operaciones principales. (Contrato de concesión 1.38; 1.41)

Los servicios secundarios más importantes son los siguientes:

- ❖ Transporte de equipajes
- ❖ Transporte de pasajeros (Terminal – avión)
- ❖ Entrega de equipaje
- ❖ Información
- ❖ Sala de pasajeros en tránsito
- ❖ Iluminación
- ❖ Salas de embarque
- ❖ Chequeo de pasajeros y equipaje
- ❖ Sala de autoridades
- ❖ Sala de espera
- ❖ Counters
- ❖ Locales para compañías aéreas
- ❖ Hangar
- ❖ Carga aérea
- ❖ Rampa
- ❖ Combustible para aeronaves

Todos los servicios secundarios son prestados conforme a las leyes aplicables que regulan el libre acceso al mercado. (Contrato de concesión, cláusula 7)

Los tipos de operadores, al igual que los servicios aeroportuarios, se clasifican en principales y secundarios:

Operador principal. Significará el operador que realiza directamente las operaciones principales del aeropuerto. (Contrato de concesión, cláusula 1.40)

Desde el año 2002 hasta la fecha, el Consorcio LAP: FRAPORT, ALTERRA, COSAPI, es el operador de las operaciones principales del aeropuerto.

Operador secundario. Significará el operador u operadores que llevan a cabo las operaciones no principales del aeropuerto. (Contrato de concesión, cláusula 1.41).

Algunos de los operadores secundarios más importantes:

- ❖ Catering: Docampo, Gate Gourmet
- ❖ Combustible: Mobil
- ❖ Mantenimiento de aeronaves: Aeroinversiones
- ❖ Rampa: Perú Dispatch, Globe Ground, Swissport, Talma Menzies
- ❖ Carga: Shohin, Swissport, Talma Menzies, Frio aéreo, otros
- ❖ Sistema de comunicación: SITA
- ❖ Aviación ejecutiva: Air Routing, Talma Menzies
- ❖ Salones VIP: Admiral, Dinners Club

Los ámbitos de desarrollo de los servicios aeroportuarios son los siguientes:

- ❖ En un ámbito libre competencia el operador principal brinda exclusivamente los servicios primarios, dejando los secundarios en libre competencia, es decir, brindado por varios proveedores. El plan maestro y la infraestructura aeroportuaria y sus accesos facilitan la intervención de terceros en la prestación de servicios secundarios. El operador principal cobra derechos a los operadores secundarios por operar dentro de la infraestructura aeroportuaria. **(ASAEP Servicios aeroportuarios secundarios ¿de la libre competencia al monopolio?)**
- ❖ En un ámbito monopólico, el operador principal brinda los servicios principales y los servicios secundarios son brindados por una sola empresa, generalmente el operador principal y una subsidiaria. El plan maestro y la infraestructura aeroportuaria y sus accesos se construyen en función a un solo operador. **(ASAEP Servicios aeroportuarios secundarios ¿de la libre competencia al monopolio?)**

A partir del segundo semestre del 2002, LAP anunció a través de la prensa su intervención en el negocio de carga, mediante la implementación del

sistema centralizado de distribución de carga aérea (Gateway), bajo el control y operación de Lima Airport Partners S.R.L.; lo que denota una búsqueda de interrumpir el contrato de transporte y también el suscrito entre la línea aérea y su terminal. Sin embargo, LAP está obligada a proveer a los operadores secundarios de carga una zona de transferencia, pero sin interferir en sus contratos y operaciones.

En Octubre de 2002, LAP entregó copia de su proyecto de carga a los miembros del comité de usuarios del aeropuerto en OSITRAN. La idea de todo esto era monopolizar el mercado de la carga aérea, que para bien del comercio exterior no se logró concretar.

2.2 Organismos que regulan a los servicios aeroportuarios

El Perú forma parte de la Organización Mundial del Comercio (OMC) por resolución legislativa N° 26407. Esta organización representa la entidad de coordinación de la Naciones Unidas para la cooperación técnica con los países en desarrollo en materia de promoción del comercio exterior; el cual se integra por tres (3) marcos regulatorios:

1. Acuerdo General sobre aranceles aduaneros y comercio (GATT): Regula el comercio de bienes tangibles.
2. Acuerdo General sobre el comercio de servicios (GATS): Regula el comercio de bienes intangibles.
3. Acuerdos sobre los aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual.

Para lograr un comercio exterior dinámico el Estado peruano por medio del Consejo Nacional de la Competitividad ha desarrollado la “Política de comercio exterior para la ampliación de mercados con reciprocidad”. Esta política se encuentra bajo la Ley Básica del Comercio Exterior Peruano por Decreto Legislativo N° 668 (Publicado el 11-09-91), la cual establece las pautas de acción por parte del Estado para con el comercio exterior.

De la misma forma que se tiene un órgano promotor del comercio exterior, que es el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, existe un órgano

fiscalizador de las actividades comerciales, este se denomina Superintendencia Nacional de Aduanas bajo Decreto Ley N° 26020 (publicado el 28-12-92), que fusionado con la Superintendencia Nacional de Administración Tributaria por Decreto Supremo N° 061-2002-PCM (publicado el 12-07-2002), es el organismo público descentralizado encargado de la administración, control, recaudación y fiscalización del tráfico internacional de mercancías, medios de transporte y personas dentro del territorio nacional.

La Superintendencia Nacional de Aduanas mediante la Ley General de Aduanas por Decreto Legislativo N° 809 (publicado el 19-04-96) y por Decreto Supremo N° 121-96-EF (publicado el 24-12-96), hace en sus intendencias el ejercicio de sus funciones básicas sobre los regímenes aduaneros (véase Tabla 2.3.1) y toda actividad relacionada al comercio exterior del Perú.

Los operadores de comercio exterior son los siguientes:

Transportista	→	Ingreso, Salida
Agente de Carga	→	Consolida y Des consolida
Almacén	→	Almacenamiento
Agente de Aduana	→	Trámite con ADUANAS
Importador / Exportador	→	Consignatario / Consignante

Los procedimientos aduaneros permiten el flujo de comercial y no comercial de cargas y son ejecutados por los operadores del comercio exterior mencionados en la sección anterior.

A continuación los catorce (14) procedimientos aduaneros para el comercio exterior:

Tabla 2.2.1 Procedimientos aduaneros

Nº	Procedimiento
1	Manifiestos
2	Despacho aduanero de mercancías
3	Importación
4	Valoración
5	Exportación
6	Tránsito
7	Trasbordo
8	Depósito de mercancías
9	Importación Temporal
10	Admisión Temporal
11	Drawback
12	Reposición de mercancías
13	Reembarque
14	Equipaje y menaje de casa

Fuente: Ley General de ADUANAS

Los procedimientos aduaneros que son considerados regímenes son aquellos que hacen referencia a un destino para las mercancías.

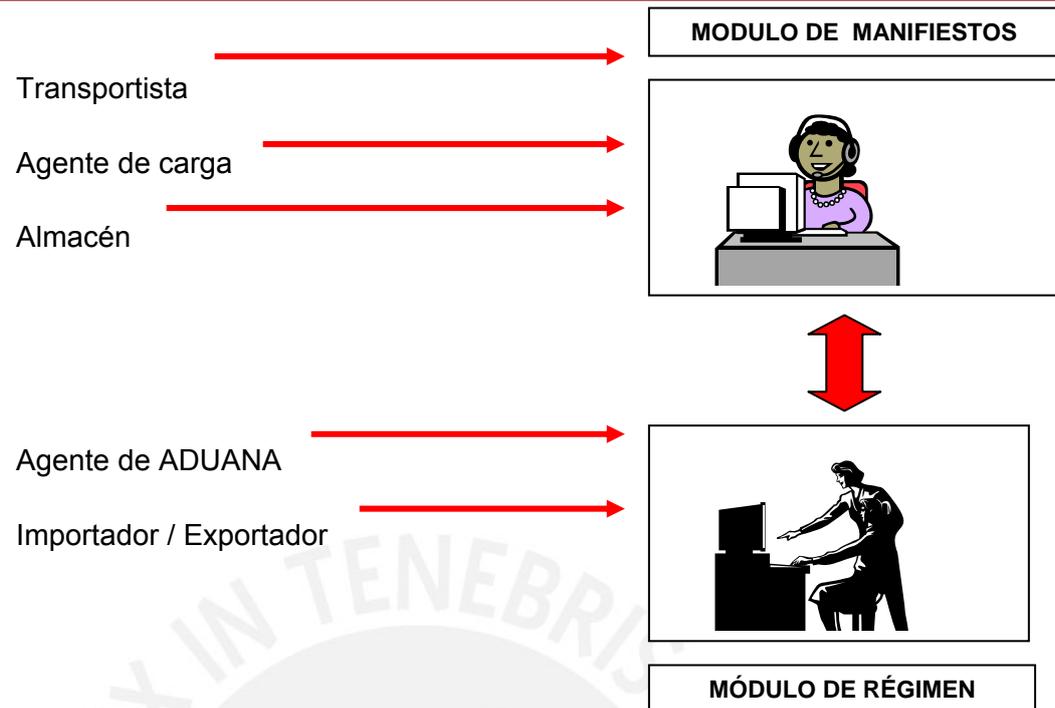
Tabla 2.2.2 Regímenes aduaneros

Tipo	Régimen
Definitivos	Importación
	Exportación
Suspensivos	Tránsito
	Trasbordo
	Depósito
Temporales	Importación Temporal
	Exportación Temporal
De perfeccionamiento	Admisión Temporal
	Drawback
	Reposición de mercancías
Operación Aduanera	Reembarque
Destinos Aduaneros Especiales	Destinos especiales

FUENTE: ADUANAS

En la actualidad, los procedimientos aduaneros requieren un constante uso de medios informáticos en el trámite aduanero, permitiéndole a ADUANAS expedir normas y establecer procedimientos que regulen emisión, transferencia, uso y control de la información.

Bajo un sistema interconectado, el suministro de información se esquematiza de la siguiente manera:



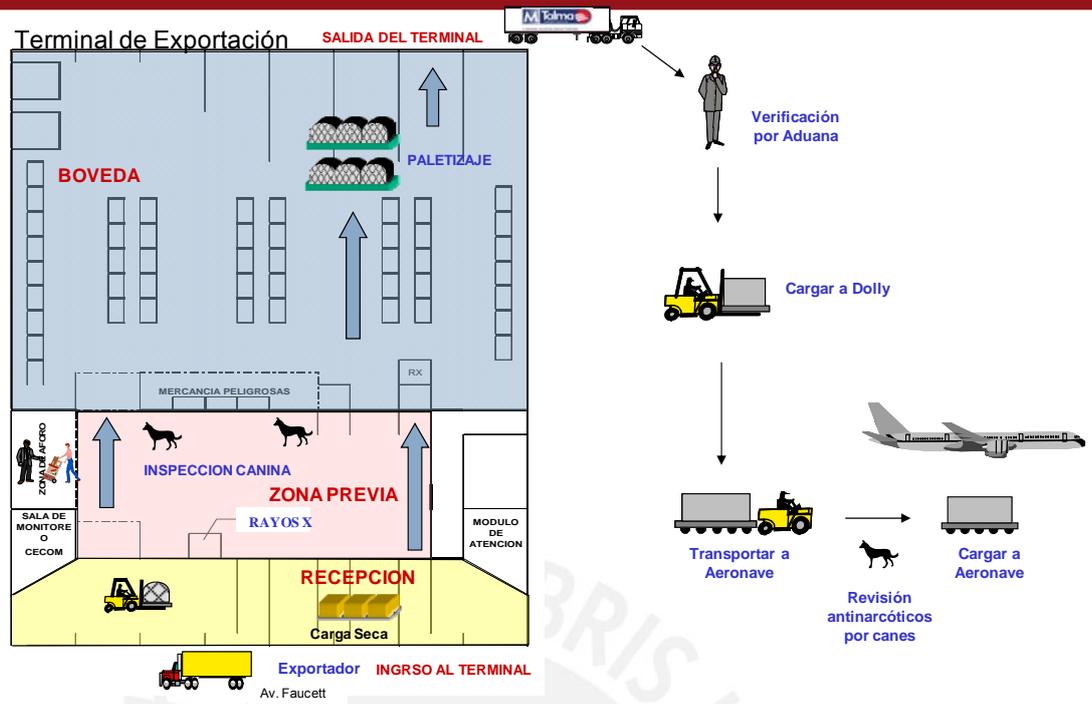
El régimen aduanero de exportación es aplicable a mercancías en libre circulación que salen del territorio para uso o consumo en el exterior y tiene la particularidad de no estar afecto a pago de tributos.

Toda mercancía a ser embarcada debe ser presentada y puesta a disposición de aduana quedando sometida a su potestad hasta autorización de salida.

Los Transportistas transmiten a la ADUANA los datos del Manifiesto de Carga correspondiente a la salida de la unidad de transporte en un plazo máximo de 72 horas contados a partir de la fecha del último embarque de la mercancía (INTA-PG.09, VI, 22).

El servicio de manipuleo y almacenaje de carga aérea de exportación es un servicio secundario operado por el Terminal de carga aérea de exportación que a su vez, también es un operador del tipo secundario. Por ejecutar un procedimiento aduanero como el de exportación, el espacio donde se realiza el servicio se encuentra bajo la supervisión de ADUANAS y sus operaciones bajo las regulaciones de la DGAC (Dirección General Aeronáutica Civil).

Ilustración 2.3.1 Servicio de manipuleo y almacenaje de carga



Fuente: Elaboración Propia basado en el servicio de manipuleo y almacenaje de caga de Talma Menzies S.R.L.

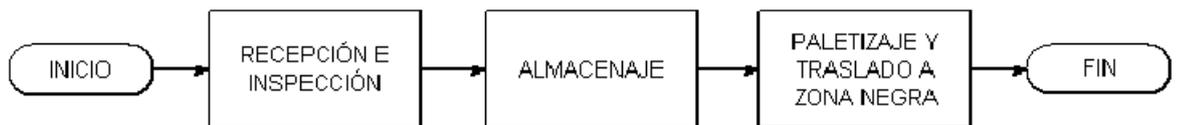
3 Diagnóstico del servicio

3.1 Situación actual

3.1.1 Etapas del servicio

El servicio de manipuleo y almacenaje de carga se compone de tres (3) etapas o procesos que llevan a la carga desde su recepción en la zona de recepción e inspección hasta su entrega a las operaciones de rampa que embarcarán dicha carga al avión para su distribución física internacional.

Ilustración 3.1.1.1 Flujo grama del servicio



Fuente: Elaboración Propia

Los recursos del proceso de recepción e inspección son los siguientes:

- a. Máquinas y equipos:

1. Cuatro (4) carriles plegables
 2. Tres (3) computadoras con módulos de escritorio
 3. Un (1) montacarga
 4. Cinco (5) estocas
 5. Cuatro (4) máquinas de rayos X
- b. Personal operativo:
1. Dos (2) recepcionistas en el andén
 2. Tres (3) digitadores
 3. Cuatro (4) balanceros
 4. De cuatro (4) a ocho (8) manipuladores de carga
- c. Tecnologías de información:
1. Un (1) sistema informático de exportación.
 2. Una (1) línea dedicada con ADUANAS
- d. Personal de seguridad:
1. Un (1) agente para el ingreso de personal
 2. Dos (2) agentes para la inspección manual o física
 3. Cuatro (4) agentes para la inspección de rayos X

La salida de este proceso es el warehouse receipt que certifica el buen estado de la carga para su almacenaje y es un documento requisito para tramitar la DUA (Declaración Única de ADUANAS) de la carga a exportar. Sin la DUA la carga no puede ser programada en ningún vuelo.

El almacenaje de carga tiene los siguientes recursos:

- a. Máquinas y equipos:
1. Alrededor de 500 anaqueles para almacenar carga en parihuelas o paletas
 2. Un (1) computador con módulo de escritorio

3. Un (1) montacarga
 4. Un (1) Circuito cerrado de vigilancia
 5. Una (1) jaula para material aeronáutico por línea aérea
- b. Personal operativo:
1. Dos (2) almaceneros
 2. Un (1) personal de apoyo
- c. Tecnologías de información:
- Un (1) sistema informático de almacenes
- d. Personal de seguridad:
1. Un (1) agente de vigilancia
 2. Un (1) operador del circuito cerrado de vigilancia

El paletizaje y traslado a zona negra es el proceso del servicio que requiere de mayor manipuleo y coordinación con la línea aérea, pues la carga viaja en el avión bajo una reserva comercial que la línea aérea elabora previamente el avión arribe en suelo peruano.

El óptimo rendimiento en la ejecución de este proceso está encadenada con el rendimiento óptimo de los procesos o etapas anteriores, pues este supone que la carga que se va a embarcar cuando esta se encuentre correctamente documentada y almacenada.

La carga puede viajar en pallets o en contenedores de aluminio que la protegen durante las operaciones en tierra y durante su viaje por avión. Cada uno de estos dispositivos de embarque lleva un número o placa de identificación que indica a qué línea aérea pertenecen, lo que hace sencillos identificarlos en la estiba de las bodegas de avión.

Este proceso se encuentra afecto a cambios en la programación de estiba y vuelos por parte de las líneas aéreas, así como por controles al ingreso al aeropuerto por parte de LAP e inspecciones de ADUANAS. Estos cambios complican la eficiencia del servicio al tratar de cumplir con los estándares de tiempo que exigen las líneas aéreas.

El paletizaje y traslado a zona negra requiere los siguientes recursos:

a. Máquinas y equipos:

1. Alrededor de 15 mesas porta-billas para la movilización de los pallets o contenedores durante el paletizaje.
2. Alrededor de 20 mesas porta-rodillos para el desplazamiento de las cargas paletizadas en los dispositivos de embarque hacia las puertas de salida para su embarque en los camiones que las llevarán a la zona negra.
3. Un (1) porta-pallet
4. Un (1) monta carga

b. Personal operativo:

1. Alrededor de diez (10) personas para el paletizaje de la carga.
2. Un (1) físico por vuelo que acompañará a la carga hasta la zona negra.

c. Tecnologías de información:

Un (1) sistema informático para registrar los tiempos de servicio.

d. Personal de seguridad:

Un (1) agente de vigilancia por vuelo

Los indicadores que miden el rendimiento de los procesos se mostrarán en la siguiente sección.

3.1.2 Indicadores claves del servicio

Actualmente el servicio se mide con los dos (2) siguientes indicadores (KPI's):

1. % Vuelos en Zona Negra a tiempo. Mide el cumplimiento del proceso de Paletizaje y traslado de carga a Zona Negra (eficacia). Los estándares de servicio se fijan conjuntamente con las líneas aéreas.

$$\text{\% Vuelos en Zona Negra a tiempo} = \frac{\text{Vuelos en Zona Negra a tiempo}}{\text{Total de vuelos atendidos}}$$

Periodo de medición: Semanal o mensual

Referencia: 92.5 % de cumplimiento semanal

2. Tiempo promedio de emisión de Warehouse Receipt. Mide el tiempo promedio del proceso de Recepción e inspección de carga que se manifiesta con la emisión y entrega del warehouse receipt o documento de recepción al agente de carga.

$$\text{Tiempo promedio de emisión de WHR} = \frac{\text{Total tiempo (min)}}{\text{Total de warehouse}}$$

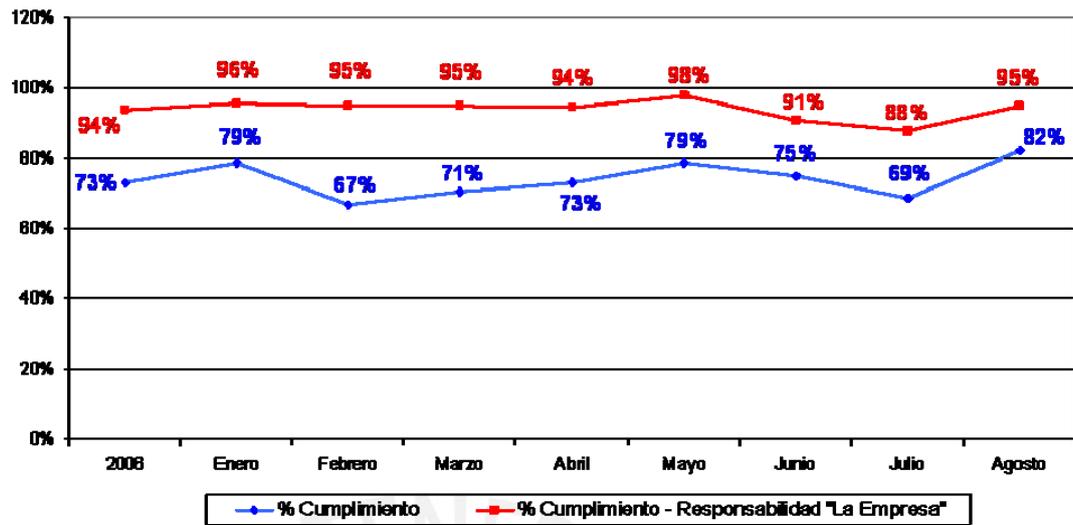
Periodo de medición: Semanal o mensual

Referencia: Ninguna

Debido a que el proceso de paletizaje y almacenaje de carga se encuentra afecto a los cambios de programación e intervenciones de LAP y ADUANAS; la eficacia de este se encuentra calculada de dos formas: incluyendo las intervenciones de factores externos y separándolos.

La Ilustración 3.1.2.1 muestra la evolución de este indicador medido mensualmente entre enero y agosto del 2006. Se puede observar que el cumplimiento del servicio que concierne sólo a la responsabilidad de la empresa se encuentra entre el 88% y 98% de cumplimiento, a diferencia de aquel que se encuentra afecto a los factores externos, previamente mencionados, encontrándose entre el 67% y 82%. Estos factores externos son propios del contexto en el que se desarrolla el proceso.

Ilustración 3.1.2.1 % de vuelos en zona negra a tiempo Ene-Ago 2006

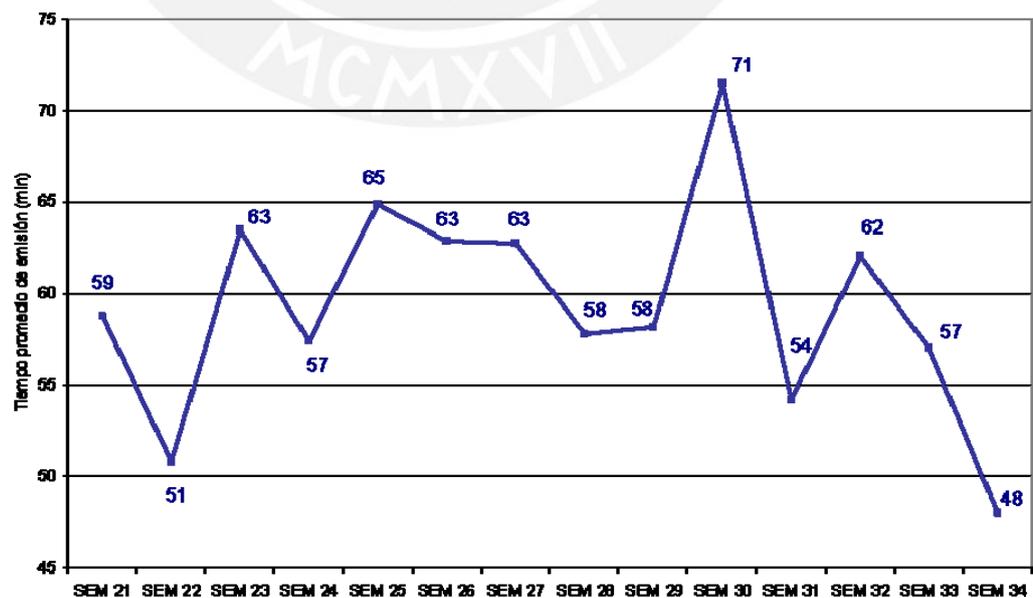


Fuente: Elaboración Propia

Conclusión:

El tiempo promedio de emisión de warehouse receipt varía entre los 48 y 71 minutos, por lo que es inestable y poco confiable. Al no tener un patrón con que comparar los valores mostrados en la Ilustración 3.1.2.2 son sólo representativos para la línea aérea.

Ilustración 3.1.2.2 Promedios semanales de tiempos de emisión de warehouse receipt en minutos.



Fuente: Elaboración Propia

3.1.3 Definición del problema

Los procesos del servicio son encadenados, por lo tanto, el objetivo de esta sección será identificar la etapa con mayor prioridad a mejorar. En la sección anterior se observa que sólo la etapa de recepción e inspección y la etapa de paletizaje y traslado a zona negra cuentan con indicadores de gestión (KPI).

La eficacia de dicho proceso es, entre enero y agosto del 2006, de 94%, superior a su meta de 92.5%. Sin embargo, en el caso de la recepción e inspección, su indicador (tiempo promedio de emisión de warehouse receipt) no tiene referencia y por lo tanto, no se sabe que tan bien o que tan mal se encuentran sus mediciones semanales.

Para determinar dicha etapa a mejorar evaluaremos las tres etapas del servicio cualitativamente por medio de las expectativas que los clientes tienen de este. Para obtener dichas expectativas, se entrevistó al personal administrativo de las operaciones de carga de la línea aérea LAN y a un agente de carga de la empresa PANALPINA.

La herramienta a utilizar será la matriz causa-efecto (CT matrix) en la que se realiza un cuadro de enfrentamiento entre los Qué espera el cliente y el Cómo lo realiza la empresa de servicios.

Se identificaron ocho (8) exigencias (Cómo(s)) por parte de la línea aérea y el agente de carga, las cuales se renquearon del 1 al 10:

1. Rapidez en la emisión del warehouse receipt.
2. Cero errores en la emisión del warehouse receipt.
3. Inventario de las cargas almacenadas en bóveda.
4. Cero errores en el paletizaje de las cargas.
5. Llegada de las cargas paletizadas a Zona negra a tiempo.
6. Espacio para la movilización de cargas y personas
7. Orden y limpieza en la manipulación de cargas
8. Buen trato al agente de carga

La relación entre los Cómo y los Qué se encuentra entre 1 y 10.

Tabla 3.1.3.1 Matriz Causa-Efecto

Importancia de los requerimientos		8	10	8	10	10	5	5	8	
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Etapas del proceso / Variables de entrada		Rapidez en la emisión de Warehouse Receipt	Cero errores en la emisión de Warehouse Receipt	Inventario de las cargas en bóveda	Cero errores en el paletizaje de las cargas (según booking)	Llegada de las cargas paletizadas a Zona Negra a Tiempo	Espacio para la inmovilización de cargas y personas	Orden y limpieza en la manipulación de cargas	Buen trato al Agente de carga / Exportador	Total
1	1. Proceso de recepción e inspección de carga									2,033
2	1.1 Autorización del servicio	10	10	1	1	1	1	1	10	298
3	1.2 Recepción y revisión de la pre-guía	10	10	1	1	1	10	1	7	319
4	1.3 Recepción e identificación de bultos	10	10	1	1	1	10	10	7	364
5	1.4 Ingreso de bultos al Terminal	10	10	2	1	1	10	10	4	348
6	1.5 Apertura de bultos	10	10	2	1	1	9	9	8	370
7	1.6 Emisión de documentos de recepción	10	8	8	1	1	1	1	10	334
8	2. Proceso de almacenaje de carga									895
9	2.1 Ubicación de los bultos en zona estéril	1	1	4	7	1	10	10	1	238
10	2.2 Recepción y verificación de los bultos en bóveda	1	1	10	7	5	6	10	1	306
11	2.3 Ubicación de los bultos en anaqueles	1	1	10	10	5	9	10	1	351
12	3. Proceso de paletizaje y traslado de carga									1,737
13	3.1 Recepción de booking y coordinación de paletizaje	1	1	6	10	10	1	1	4	308
14	3.2 Descarga de las cargas desde sus ubicaciones	1	1	10	8	8	5	10	1	341
15	3.3 Paletizaje de cargas	1	1	3	10	10	10	10	4	374
16	3.4 Realizar las modificaciones solicitadas por el cliente	1	1	3	10	10	10	10	3	366
17	3.5 Coordinar los camiones a utilizar en el transporte	1	1	1	1	10	1	1	1	154
18	3.6 Trasladar las cargas a Zona Negra	1	1	1	1	10	1	9	1	194
Total		552	670	504	700	750	470	515	504	

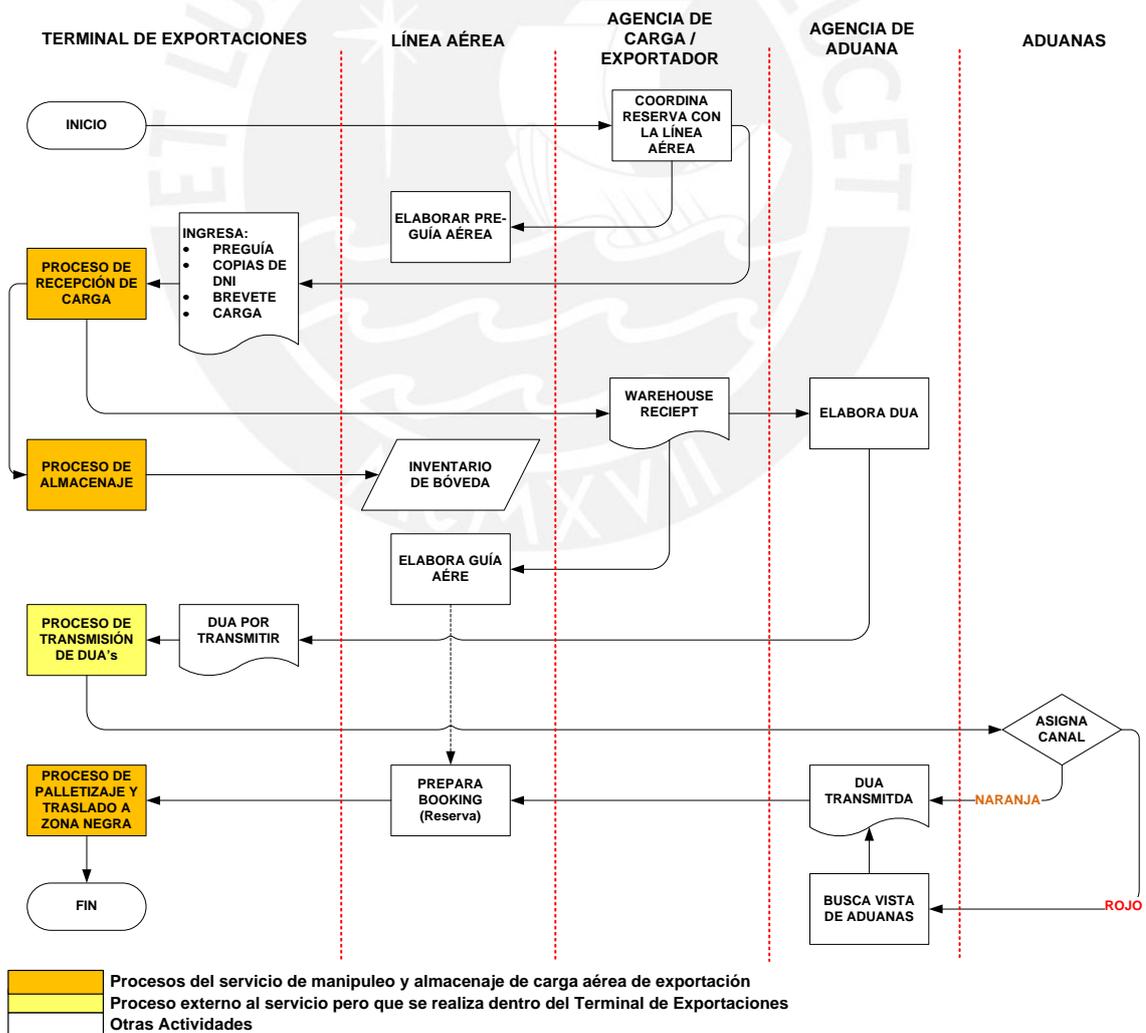
Fuente: Elaboración Propia

Al multiplicar la relación de un Qué y un Cómo con la importancia del requerimiento, obtenemos la relevancia de la etapa del servicio respecto a una determinada exigencia.

La etapa que logró el mayor puntaje fue la etapa de recepción e inspección de carga. La razón fundamental es la urgencia de obtener la DUA para la exportación de dicha carga. Sin ese documento la carga simplemente no puede volar a su destino.

El proceso de Transmisión de DUA's lo realiza el Terminal de exportaciones cuando del Agente de aduana realiza el trámite con la warehouse receipt en mano (Véase Anexo N° 3); sin embargo, no forma parte de las etapas del servicio de manipuleo y almacenaje de carga como lo muestra la Ilustración 3.1.3.1.

Ilustración 3.1.3.1 Proceso de exportación



Fuente: Elaboración Propia

El tiempo que tiene que esperar el agente de carga para que se la haga entrega de su warehouse receipt, desde su punto de vista, debe ser el más corto posible para que el agente de aduana tramite la DUA.

En la mayoría de casos, las empresas de servicios aduaneros realizan la función de agente de carga y agente de aduana. Ambas deben pasar por el proceso de recepción e inspección y el de transmisión de DUA's de forma secuencial y sin tiempo que perder.

La Tabla 3.1.3.2 muestra que durante cinco (5) semanas se emitieron 1,914 warehouse receipt, las cuales presentaron tiempos muy diversos y cargas con diferente cantidad de bultos. Esto es perjudicial para el agente de carga, pues este no sabe cuánto le va a tomar tramitar la warehouse receipt a una hora determinada y el tiempo promedio del indicador de este proceso no le ofrece más que mucha variabilidad.

Tabla 3.1.3.2 Tiempos de emisión de warehouse receipt

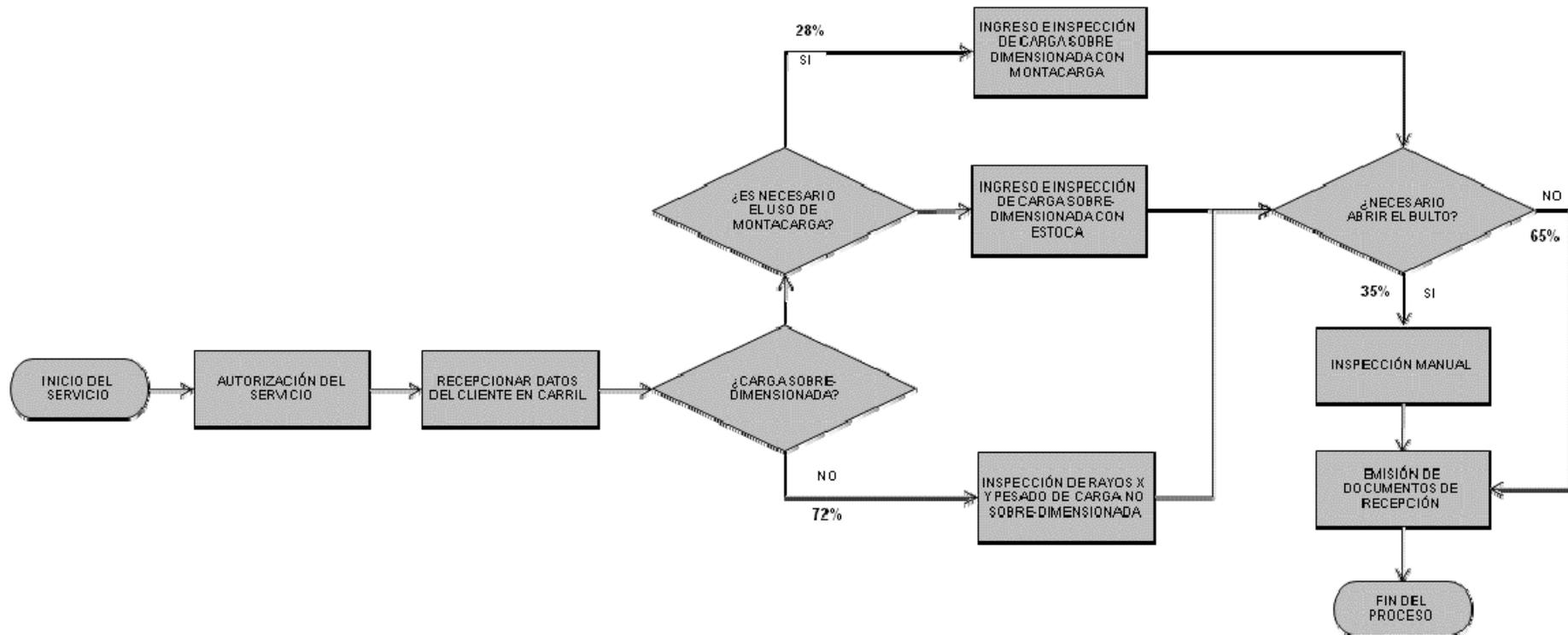
Rango de Bultos		DE LA SEMANA 21 A LA SEMANA 25 DEL 2007				
		WHR's	Tpo. Tot. (min)	Bultos Tot.	Btos. / WHR's	Tpo. / WHR's (min)
C A R G A S E C A	0-50 (sRx)	219	20,158	1,385	6	92
	0-50 (cRx)	1,427	79,780	13,492	9	56
	51-100	133	8,306	9,559	72	62
	101-150	48	2,637	5,990	125	55
	151-200	28	1,544	4,840	173	55
	201-250	13	988	2,920	225	76
	251-300	14	1,172	3,863	276	84
	301-350	7	1,939	2,249	321	277
	351-400	6	663	2,269	378	111
	401-450	4	627	1,717	429	157
	451-500	3	265	1,443	481	88
	Más de 500	12	1,281	8,239	687	107
	Total	1,914	119,360	57,966	30	62

Fuente: Empresa de estudio

Las cargas no sólo varían en sus bultos, sino también en su peso, por lo que los recursos que se emplearán en el proceso de recepción e inspección para la movilización de estas serán diferentes y el tiempo que esto tomará también variará.

La Ilustración 3.1.3.2 muestra el flujo grama del proceso de recepción e inspección de carga, en el se diferencian aquellas etapas que son movilizadas manualmente, por estoca y por montacarga, asimismo, se muestra la inspección manual que se realizaría durante el proceso.

Ilustración 3.1.3.2 Flujo del proceso de recepción e inspección de carga



Fuente: Elaboración Propia

Conclusión:

Siendo el warehouse receipt un documento requisito para la obtención de la Declaración Única de Aduanas (DUA), el cual es el documento con valor oficial y legal para que la carga viaje, el agente de carga debe entregar el warehouse receipt al agente de aduanas para que este trámite la DUA (Véase Ilustración 3.1.3.1); sin embargo, aparte de esperar tiempos cada vez más prolongados, el no saber el tiempo que permanecerá el agente de carga en el servicio perjudica su disponibilidad y podría correr el riesgo de no llegar obtener la DUA para cuando se es requerida.

El problema principal es la falta administración de los tiempos en proceso y su comunicación a los agentes de carga; así como los modos de falla que provocan mayores pérdidas de tiempo y multas para el Terminal aeroportuario.

En la hoja de Autorización del proyecto que se muestra en Anexo N° 4 se muestra formalmente la presentación del proyecto de la presente tesis.

3.2 Medición de la calidad del servicio

3.2.1 Medición del nivel sigma

La calidad del servicio está vinculada a los parámetros de salida que los clientes, experimentan, definen y califican. Dentro de todas las salidas a las que hacen referencia, se destacan las siguientes:

Tabla 3.2.1.1 Parámetros del servicio

Etapa del Proceso	Nº	Parámetros (y's)
AUTORIZACIÓN DEL SERVICIO Y RECEPCIÓN DATOS DEL CLIENTE	1	Datos de la Pre-guía correctamente ingresados al sistema de exportación
	2	Atención sólo a Agentes de Carga Acreditados por la DGAC
	3	La carga Recepcionada está correctamente etiquetada
INSPECCIÓN Y PESADO DE CARGA	4	El pesado de la carga debe ser el correcto
TODAS LAS ETAPAS	5	El tiempo de emisión del Warehouse Receipt debe ser máximo 40 minutos

Fuente: Elaboración propia

Dentro de estos parámetros de salida no se cuenta la seguridad del servicio por ser un elemento muy delicado para la empresa de estudio, por lo que pidió no se mencione.

El nivel sigma se obtendrá a partir de los defectos por oportunidad por millón de unidades (DPMO) de los cinco (5) parámetros de salida del servicio que se muestran en la tabla 3.2.1.1; para ello utilizaremos 38,218 Warehouses receipts emitidas durante el 2006, teniendo en cuenta la frecuencia de defectos que cada parámetro presentó por warehouse receipt producido y las oportunidades de defecto de los mismos.

Tabla 3.2.1.2 Defectos del Producto

Nº	Parámetros (y's)	Defectos	Oportunidades por Defecto	Frecuencia del Defecto	Unidades Producidas
1	Los datos de la carga y su agente de carga y/o exportador son correctos	Warehouse Receipt emitidos con datos incorrectos	6	9	38,218
2	Atención sólo a Agentes de Carga Acreditados por la DGAC	Warehouse Receipt emitidos a Agente de Carga NO ACREDITADO	1	12	38,218
3	La carga Recepcionada está correctamente etiquetada	Carga Recepcionada con etiquetas con información INCORRECTA	50	6	38,218
4	El pesado de la carga debe ser el correcto	Warehouse Receipt emitido con Peso INCORRECTO	4	18	38,218
5	El tiempo de emisión del Warehouse Receipt debe ser máximo 40 minutos	Tiempo de emisión del Warehouse Receipt mayor a 40 minutos	1	10518	38,218

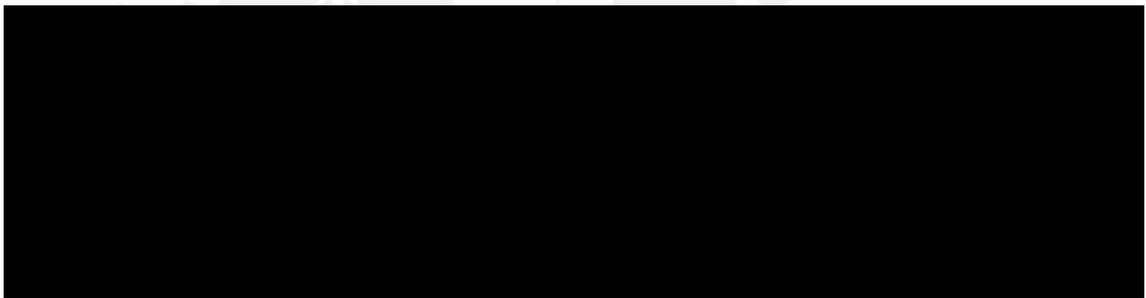
Fuente: Elaboración propia

Debido a que la calidad del servicio depende del performance de los cinco parámetros encontrados, los cuales presentan defectos por unidad producida (DPU), por medio del Rendimiento Encadenado (RTY) conformado por cada rendimiento individual (YTP) se determinará el nivel sigma del servicio.

El rendimiento Encadenado es el rendimiento del proceso o servicio; ello se encuentra directamente relacionado con el nivel sigma, debido a que el porcentaje de Defectos por Oportunidad nos indica la capacidad de control de la variación. Para un nivel de seis (6) sigma es aproximadamente 3.4 unidades defectuosas por millón.

Los parámetros no relacionados al tiempo de emisión de warehouse son los “críticos para la calidad” y como podemos apreciar en la tabla de abajo, obtienen un rendimiento encadenado de 3.04 niveles sigma.

Tabla 3.2.1.3 Nivel Sigma de los parámetros críticos para la calidad



Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, para determinar el nivel sigma del proceso se requiere determinar el nivel sigma del tiempo de emisión de warehouse receipt que es un parámetro de “crítico para la entrega”. La administración actual del servicio no puede estimar su valor en un determinado momento del día, lo que provoca insatisfacción en el cliente al no poder programar mejor su tiempo como se concluyó en la sección anterior.

Para estudiar el comportamiento de los tiempos de emisión de warehouse receipt que experimentan los agentes de carga, se tomó una muestra de 348 datos que se ajustan a una distribución gamma:

$$f(x) = \frac{\lambda^a (x - \theta)^{a-1} \exp[-\lambda(x - \theta)]}{\Gamma(a)}, \quad x > \theta, a > 0, \lambda > 0$$

Donde la media y varianza de los tiempos de espera en proceso son:

a. Media = $a \lambda^{-1} + \theta$ = 41.01 minutos

b. Varianza = $a \lambda^{-2}$ = 1,887 minutos²

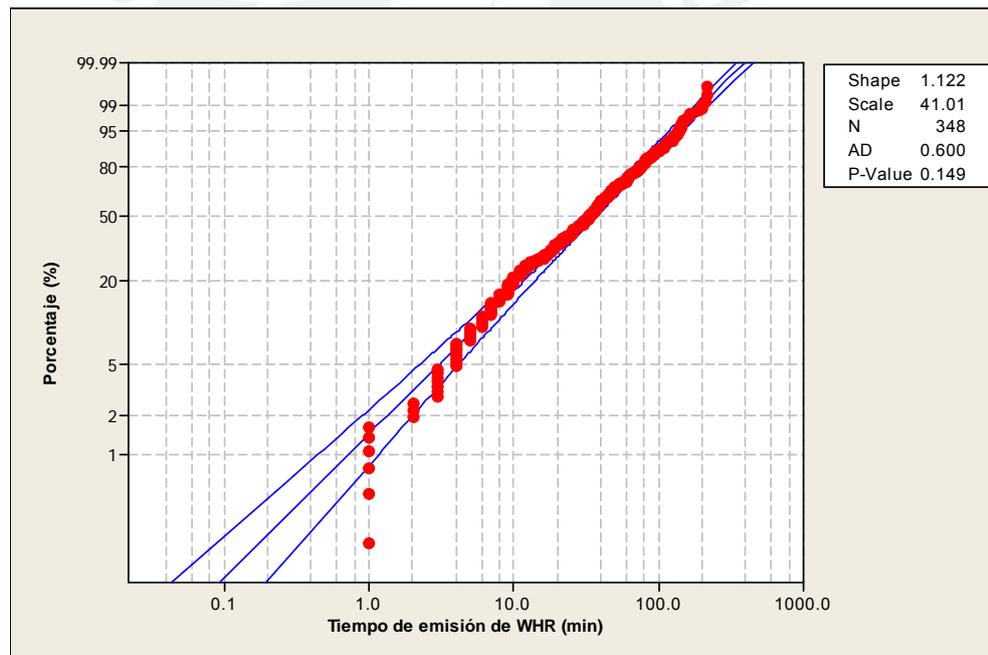
El gráfico de probabilidad de la Ilustración 3.2.1.4 elaborado en el programa estadístico MINITAB se muestra los siguientes parámetros:

a. Shape = "a" = 1.122

b. Scale = " λ^{-1} " = 41.01

La alta variación de las cargas se refleja en la alta desviación del tiempo de emisión de warehouse receipt, la cual es de aproximadamente 43.50 minutos, valor mayor al de los 41.01 minutos de su media.

Ilustración 3.2.1.1 Gráfico de probabilidad para los tiempos de emisión de warehouse receipt



Fuente: Elaboración Propia

Con un P-value de 0.149 que supera el nivel de significancia igual a 0.05, validamos la hipótesis que afirma que los datos se ajustan a una distribución gamma mostrada en la ilustración anterior.

Al observar la distribución gamma encontrada, de forma acumulada junto con los datos reales como se observa en la ilustración 3.2.1.5, observamos que para 40 minutos se obtiene un rendimiento individual (YTP) de 56.30%.

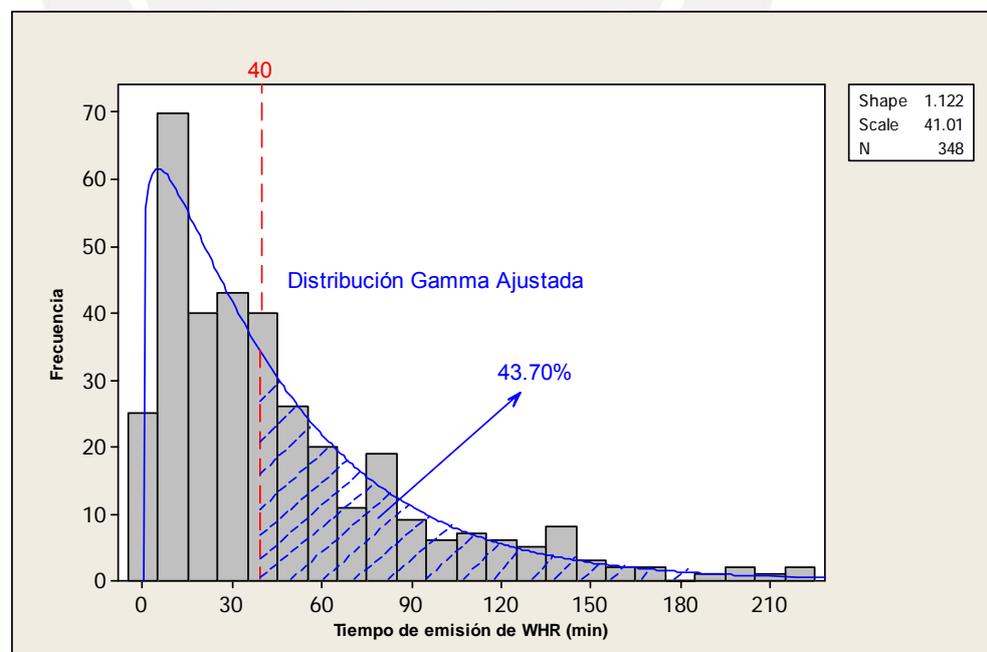
Utilizando la ecuación 1.2.2.2 se traduce el rendimiento individual (YTP) en Defectos por Unidad (DPU), y obtenemos la tasa de Defectos por millón de oportunidades (DPO) como se explica en la sección 1.2.2 de este documento. El nivel sigma de este parámetro resulta 0.92.

Conclusión:

Se concluye que el parámetro más crítico es aquel “crítico para la entrega” por poseer un menor rendimiento y nivel sigma en el servicio. Establecer un tiempo de atención de 40 minutos como aquel tiempo que define un “buen servicio” es un error, pues aproximadamente sólo en la mitad de los casos se cumplirá con tal parámetro.

También se concluye que la data presenta alta dispersión y hace falta separar y clasificar los tiempos de acuerdo a los tipos de carga.

Ilustración 3.2.1.2 Distribución Gamma ajustada de los tiempos de emisión de warehouse receipt



Fuente: Elaboración Propia

Cabe mencionar que el tiempo que el agente de carga experimenta durante el servicio no se limita al tiempo de emisión de WHR, sino que también experimenta el tiempo que pasa en cola esperando ser atendido, ello se reflejará al momento de medir la velocidad del servicio en la siguiente sección del presente documento.

3.2.2 Velocidad del servicio

En la sección anterior se estimó una media de 42.4 minutos y una desviación estándar de 45.4 minutos para el tiempo de emisión de warehouse receipt, sin embargo, esto no nos dice mucho acerca de la velocidad del servicio pues la variabilidad de cargas que se atienden es muy grande y no toma en cuenta el tiempo que el cliente pasa en cola; por lo tanto, por medio del tiempo takt o ritmo de demanda determinaremos la velocidad que requeriría el servicio para responder a dicha demanda.

Para trabajar con una demanda tan variable, clasificaremos a las cargas que pasarán a ser procesadas, teniendo en cuenta cuatro (4) características:

1. La cantidad de kilos
2. La cantidad de bultos
3. El recurso que se requiere para movilizarlos
4. El tiempo promedio de emisión de WHR de dicha clasificación

Al agrupar los warehouse receipts se establecieron intervalos de kilos que iban de [0.05 ; 50] kilos a [2,500 ; 100,000] kilos, así como en intervalos de bultos que iban de [1 ; 5] bultos a [1,000 ; 5,000] bultos. Ello hace referencia al peso que tienen los bultos de una determinada carga, y por consiguiente, a los recursos que se utilizarán para movilizarlos al momento de su ingreso al servicio, los cuales pueden ser tres (3):

1. Persona, para bultos de hasta 50 kilos.
2. Estoca, para bultos de hasta 500 kilos.
3. Montacarga, para bultos de hasta 10 toneladas.

En el flujo grama del proceso (véase Ilustración 3.1.3.1) se divide la etapa de “Ingreso e inspección de carga” según los tres tipos de recursos que se mencionan arriba; ello debido a que sus actividades y tiempos varían de acuerdo al recurso que utilizan.

En la clasificación de WHR se tomó en cuenta que los tiempos promedios en la emisión debían tener un 95% de confianza.

Las muestras se obtuvieron deseando un error del 5% de la media igual a dos (2) veces la desviación estándar a fin de estar al 95% de confianza:

$$0.05\bar{x} \cong 2\sigma \dots \text{ecuación 3.2.2.1}$$

Donde,

\bar{x} : Media aritmética de una muestra de “n” datos

σ : Desviación estándar de la población de N datos

Teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} \dots \text{ecuación 3.2.2.2}$$

Donde,

μ : Media aritmética de la población de N datos

$$\sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}} \dots \text{ecuación 3.2.2.3}$$

Sin embargo la desviación estándar de la media es:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots \text{ecuación 3.2.2.4}$$

Donde,

$\sigma_{\bar{x}}$: Desviación estándar de una muestra de “n” datos

Despejando el valor de “n” y reemplazando valores, obtenemos la muestra necesaria para un promedio con 95% de confianza:

$$n = \left(40 \frac{[N \sum x^2 - (\sum x)^2]^{1/2}}{\sum x} \right)^2 \dots \text{ecuación 3.2.2.5}$$

Encontrando la afinidad en las cuatro (4) características mencionadas al iniciar esta sección, se obtuvieron veinticinco (25) clases de warehouse receipt etiquetados de la “A” a la “Y” como se muestra en la tabla 3.2.2.1.

Tabla 3.2.2.1 Clases de Warehouse Receipt

Nº	Etiqueta	Bultos		Kilos		Recurso
		Inf	Sup	Inf	Sup	
1	A	1	5	0	50	PERSONA
2	B	1	5	50	400	ESTOCA
3	C	1	5	400	1,000	ESTOCA
4	D	1	5	1,000	50,000	MONTACARGA
5	E	5	15	5	150	PERSONA
6	F	5	15	150	400	ESTOCA
7	G	5	15	400	1,000	ESTOCA
8	H	5	15	1,000	2,500	ESTOCA
9	I	5	15	2,500	50,000	MONTACARGA
10	J	15	50	15	400	PERSONA
11	K	15	50	400	1,000	PERSONA
12	L	15	50	1,000	2,500	ESTOCA
13	M	15	50	2,500	50,000	MONTACARGA
14	N	50	150	50	400	PERSONA
15	O	50	150	400	2,500	PERSONA
16	P	50	150	2,500	50,000	MONTACARGA
17	Q	150	300	150	400	PERSONA
18	R	150	300	400	2,500	PERSONA
19	S	150	300	2,500	50,000	ESTOCA
20	T	300	500	400	1,000	PERSONA
21	U	300	500	1,000	2,500	PERSONA
22	V	300	500	2,500	50,000	ESTOCA
23	W	500	1,000	1,000	2,500	PERSONA
24	X	500	1,000	2,500	100,000	ESTOCA
25	Y	1,000	5,000	1,000	100,000	PERSONA

Fuente: Elaboración Propia

Las clases de warehouse receipt tienen diferentes ocurrencias en el servicio de manipuleo y almacenaje de carga, así como diferentes tiempos de emisión de WHR; por lo tanto, se registran diferentes tiempos de servicio que producen la alta desviación de 45.4 minutos que estimamos al elaborar el histograma de tiempos de emisión de warehouse receipt en la sección anterior. (Véase Ilustración 3.2.1.1)

Con los 38,218 WHR que se utilizaron para estimar el nivel sigma del servicio en la sección anterior, se construyó un Pareto de la ocurrencia

de clases de WHR que se muestra en el Anexo N° 5; donde se puede apreciar que de las veinticinco (25) clases de WHR, tres (3) significan el 50% del total de WHR ingresadas.

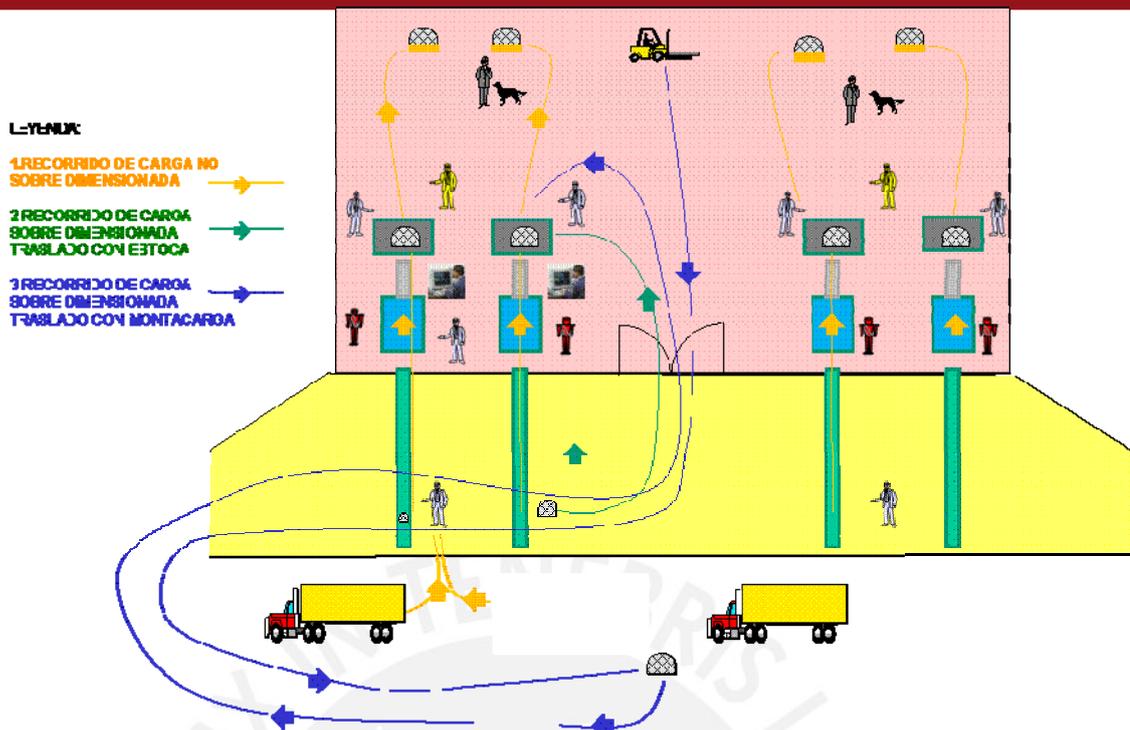
También se puede estimar que el 63% de las WHR son ingresadas por Personas, mientras que el 36% y 1% son ingresadas por estoca y montacarga respectivamente.

De acuerdo a esta clasificación se realizó una toma de tiempos para obtener promedios por cada etapa del proceso con un 95% de confianza, con el propósito de estimar un tiempo promedio en la emisión de warehouse receipt para cada clase, tomándose en cuenta el recorrido de las cargas y documentos que se desarrollan a diario en la zona de recepción e inspección de carga que se muestra en el Anexo N° 6 a escala no normalizada la distribución de la zona.

El servicio cuenta con cuatro (4) carriles ubicados en el andén que se conecta con la zona de estacionamiento. Cada carril cuenta con una máquina de rayos X y una balanza para el pesado de las cargas.

En el diagrama de recorrido de cargas se puede apreciar que sólo las cargas que son ingresadas por Personas, pasan a través de los carriles y las máquinas de rayos X; el resto de cargas ingresan a la zona de recepción e inspección a través de una esclusa hacia las balanzas y luego hacia la zona de inspección física o manual.

Ilustración 3.2.2.1 Diagrama de espaguetti del flujo de cargas



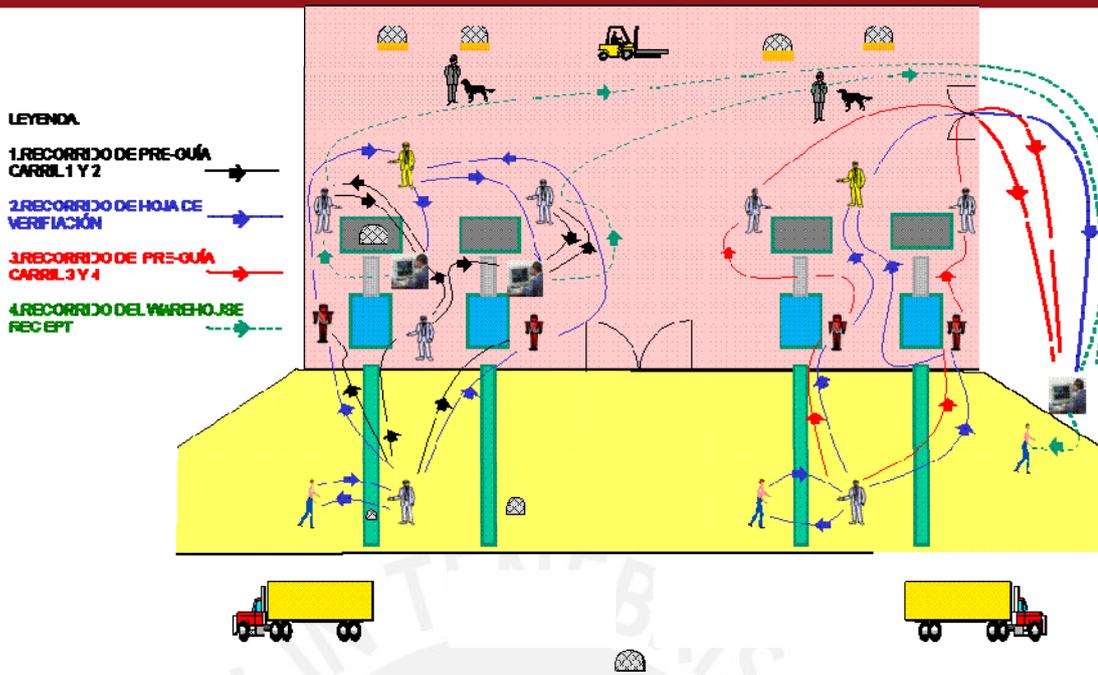
Fuente: Elaboración Propia

A diferencia del recorrido de cargas, el recorrido de documentos es más complicado, ello debido a que son más de un documento y más de un agente, ya sea el cliente, el personal del servicio o el personal de seguridad que intervienen en dicho proceso documentario.

La ilustración 3.2.2.2 muestra el flujo de documentos en la zona de recepción e inspección y a pesar que se observa un flujo complicado, también se puede observar que no es igual para todos los carriles de atención. Los carriles uno (1) y dos (2) tienen un flujo diferente a los carriles (3) y (4); ello debido a que los dos primeros cuentan con digitadores al costado de sus máquinas de rayos X, mientras que los dos últimos no y por ello deben utilizar al digitador de la ventanilla de atención.

La emisión de warehouse receipt en los carriles uno (1) y dos (2) se dan en los módulos de los digitadores, por lo que el agente de carga debe de ingresar a la zona de recepción e inspección, mientras que en los dos últimos carriles el agente de carga es atendido por ventanilla.

Ilustración 3.2.2.2 Diagrama de espagueti del flujo de documentos



Fuente: Elaboración Propia

Resumiendo, el tiempo de emisión se define por los siguientes tres (3) factores:

1. Los recursos para la movilización de cargas:
 - a. Montacarga
 - b. Estoca
 - c. Personas
2. La inspección física o manual:
 - a. Con inspección física
 - b. Sin inspección física
3. Los carriles donde se ejecute el servicio:
 - a. Servicio en carriles uno (1) y dos (2)
 - b. Servicio en carriles tres (3) y cuatro (4)

En la toma de tiempos se obtuvieron cuatro (4) tiempos promedio de emisión de warehouse receipt para los tres (3) recursos utilizados en el ingreso de cargas a la zona de recepción e inspección.

Con el objetivo de estimar un tiempo promedio por cada clase de warehouse receipt para elegir un warehouse receipt equivalente que permita estandarizar la demanda y estimar la velocidad del servicio.

En el Anexo N° 7 se observa que el warehouse receipt (WHR) clase “A” es elegido como un warehouse receipt estándar (WHR ESTD.), sobre el cual se establecen cantidades equivalentes para todas las demás clases.

El crecimiento de la carga seca ingresada al Terminal de exportación ha sido alrededor de 44% entre el año 2004 y 2005; de 31% entre el 2005 y 2006; y se espera un crecimiento de alrededor del 27% para el 2007.

Tabla 3.2.2.2 Crecimiento anual de la carga seca ingresada

AÑO	2004	2005	2006
TONELADAS	8,553	12,304	16,157
%_CRECIM.		44%	31%

Fuente: Elaboración Propia

Debido a que el crecimiento ha sido constante, al igual que las exportaciones según la Tabla 3.2.2.3, basado en el Anexo N° 8. Para la estimación del ritmo de demanda se utilizará los datos del mes de noviembre del 2006 por ser el mes pico, en términos de toneladas ingresadas, y garantizará una importante cantidad de warehouse receipt para evaluar; así como un escenario que en el futuro será común.

Tabla 3.2.2.3 Crecimiento de la exportaciones (Millones de US\$)

AÑO	2004	2005	2006	2007	2008	2009
US\$ MILL.	12,804	17,368	23,800	27,399	28,424	28,987
%_CRECIM.		36%	37%	15%	4%	2%

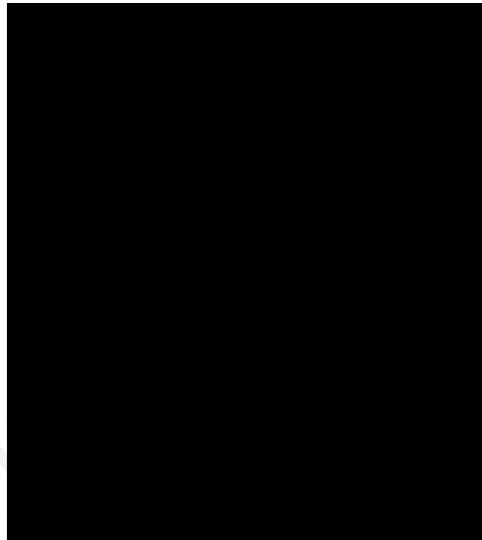
Fuente: Elaboración propia basado en <http://estadisticas.bcrp.gob.pe>

Durante el mes de noviembre 2006 se registraron 3,019 warehouse receipt y 1,639 toneladas ingresadas al servicio; sin embargo usando la estandarización de warehouse receipt (Véase Anexo N° 9) se estima que durante el mes de noviembre 2006 ingresaron 8,931 warehouse receipt estándar (tipo A). Con esos datos se determinarán el día pico y el día bajo para medir la velocidad del servicio.

Una vez diagnosticada la velocidad del servicio en el 2006 y conociendo el crecimiento de las exportaciones peruanas, se puede proyectar el

ritmo de demanda que los próximos años presentarán. Dicho ritmo de demanda lo calcularemos usando la fórmula del Tiempo Takt.

Tabla 3.2.2.4 Toneladas de carga seca ingresadas en los años 2005 y 2006



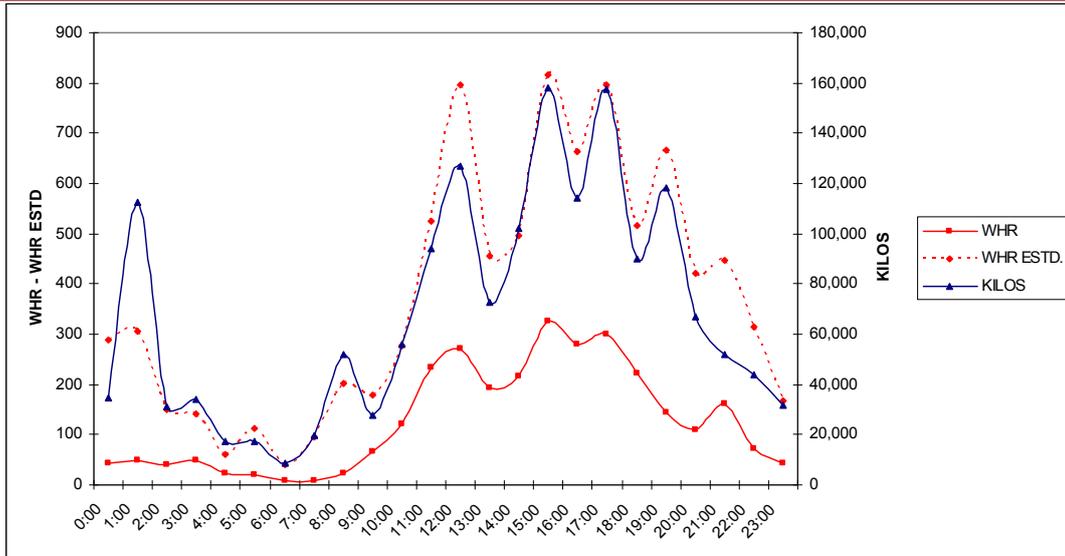
Fuente: Elaboración Propia

En el Anexo N° 9 se muestra la distribución diaria de los kilos, warehouse receipt y warehouse receipt estándar del mes de noviembre 2006, así como el día bajo y día pico de dicho mes, los cuales son el día domingo cinco (05) y el viernes veinticuatro (24) respectivamente.

La diferencia entre el día pico y el día bajo en la cantidad de warehouse receipt y en la de kilos es significativa, ello ayudará a estimar un intervalo para el ritmo de demanda o tiempo takt.

Conocidos los días en los que se realizará la evaluación de la velocidad, determinaremos el intervalo de horas donde se concentra la mayor cantidad de warehouse receipt que ingresan al servicio.

Ilustración 3.2.2.3 Distribución horaria del mes de Noviembre 2006



Fuente: Elaboración Propia

Existe una correlación entre los datos de llegada de los kilos con la de los warehouse receipt en la distribución horaria que se observa en la ilustración de arriba; sin embargo la tabla 3.2.2.5 muestra que la correlación que existe entre estos y los warehouse receipt estándar es aún mayor, por lo que utilizaremos a este último para determinar las horas del día en las que se evaluará la velocidad del servicio.

Tabla 3.2.2.5 Correlación entre WHR, Kilos y WHR ESTD.

RELACIÓN	CORRELACIÓN
WHR ESTD. Vs KILOS	94%
WHR Vs KILOS	87%
WHR ESTD. Vs WHR	94%

Fuente: Elaboración Propia

Aproximadamente el 80% de los warehouse receipt estándar que ingresaron el mes de noviembre 2006 llegaron entre las 11 y 22 horas, por lo que mediremos la velocidad del servicio en ese intervalo de tiempo para los días bajo y pico.

Tabla 3.2.2.6 Pareto de la llegada horaria de WHR ESTD durante el mes de noviembre 2006

HORA	WHR ESTD.	%_PARTICP.	%_ACUM.
15:00	815	9%	9%
12:00	797	9%	18%
17:00	797	9%	27%
19:00	666	7%	34%
16:00	665	7%	42%
11:00	524	6%	48%
18:00	517	6%	54%
14:00	495	6%	59%
13:00	456	5%	64%
21:00	448	5%	69%
20:00	420	5%	74%
22:00	314	4%	77%
01:00	305	3%	81%
00:00	289	3%	84%
10:00	276	3%	87%
08:00	202	2%	89%
09:00	180	2%	91%
23:00	166	2%	93%
02:00	149	2%	95%
03:00	141	2%	97%
05:00	113	1%	98%
07:00	95	1%	99%
04:00	60	1%	100%
06:00	40	0%	100%
TOTAL	8931	100%	

Fuente: Elaboración Propia

El tiempo takt o ritmo de demanda se mide de la siguiente forma obtenida del libro de Michael George, Lean Six sigma for services:

$$Tiempo\ Takt = \frac{Horas\ disponibles}{Demanda} \dots ecuación\ 3.2.2.6$$

Entre las 11 y las 22 horas tenemos doce (12) horas disponibles para responder a 436 solicitudes de warehouse receipt estándar que llegan al servicio en el día pico del mes de noviembre, por lo que el tiempo takt es de 1.65 minutos, mientras que en el caso del día bajo con 63 solicitudes el tiempo takt es de 11.43 minutos, lo que quiere decir que ese será el tiempo disponible para emitir una warehouse receipt estándar en ese intervalo de doce (12) horas.

Tabla 3.2.2.7 Distribución de las warehouse receipt estándar durante el día pico y bajo de noviembre del 2006

HORA	DÍA PICO	DÍA BAJO
0:00		
1:00	5	3
2:00	4	
3:00	8	4
4:00	3	4
5:00		10
6:00		
7:00		
8:00		
9:00	6	4
10:00	11	4
11:00	32	1
12:00	26	24
13:00	10	3
14:00	39	2
15:00	39	27
16:00	75	2
17:00	18	
18:00	17	2
19:00	7	1
20:00	83	
21:00	76	
22:00	15	1
23:00	9	
TOTAL	482	93

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo del tiempo takt del día pico y bajo del mes de noviembre del 2006:

$$\text{Takt Time del día pico} = \frac{\text{Horas disponibles}}{\text{Demanda del día pico}} = \left(\frac{12 \text{ horas}}{436 \text{ WHR}} \right) \times \left(\frac{60 \text{ m.n.}}{1 \text{ hora}} \right) = 1.65 \text{ min.}$$

$$\text{Takt Time del día bajo} = \frac{\text{Horas disponibles}}{\text{Demanda del día bajo}} = \left(\frac{12 \text{ horas}}{63 \text{ WHR}} \right) \times \left(\frac{60 \text{ m.n.}}{1 \text{ hora}} \right) = 11.43 \text{ min.}$$

Sabiendo que una warehouse receipt estándar se realiza en 9.38 minutos (Véase Tabla 3.2.2.3), se puede afirmar que para un día pico como lo es el veinticuatro (24) de noviembre del 2006, se generarán colas para el servicio y las 436 solicitudes de warehouse receipt estándar que llegan en ese día no podrán ser terminados entre las 11 y 22 horas.

Por el contrario, para el caso de un día bajo como lo es el día cinco (5) de noviembre del 2006, las 63 solicitudes de warehouse receipt estándar podrán ser atendidas durante esas doce (12) horas e incluso podemos afirmar que sobrá tiempo.

También se puede afirmar que para los días pico como el veinticuatro (24) de noviembre la empresa requerirá de mayor cantidad de recursos para atender a todos los clientes entre las 11 y 22 horas, mientras que en días bajos como el cinco (5) de noviembre la empresa requerirá de menor cantidad de recursos para ese mismo periodo.

La cantidad de horas que demandaría atender una determinada cantidad de solicitudes de warehouse receipt estándar con una determinada cantidad de recursos o capacidad se calcula en base al tiempo de entrega o lead time, el cual trata de decir cuánto tiempo toma servir a un cliente en un lapso de tiempo en el que se tiene una cierta cantidad de trabajo con una determinada capacidad para completarlo.

$$\text{Lead Time} = \frac{\text{Trabajo en Proceso}}{\text{Ratio de completación}} \dots \text{ecuación 3.2.27}$$

Esta fórmula fue obtenida del libro de Michael George, Lean Six sigma for services.

Con la cantidad de recursos que utilizamos para la toma de tiempos (Véase Ilustración 3.2.2.1) y utilizando los cuatro (4) carriles o servidores simultáneamente, se estima que el servicio podría emitir un warehouse receipt en aproximadamente 2.35 minutos.

$$\text{Tiempo promedio de emisión de WHR estándar} = \frac{\text{Tiempo de promedio de emisión por servidor}}{\text{Número de servidores del servicio}} = \frac{9.38 \text{ min. /carril}}{4 \text{ carriles}} = 2.35 \text{ min.}$$

Tomando las 436 solicitudes estándar como el trabajo en proceso durante el día pico y asumiendo que una solicitud de atención no será servida hasta que la anterior termine de pasar por todas las etapas del servicio, se procede a determinar el ratio de completación y los tiempos Lead time para el día pico y bajo del mes de noviembre.

Cálculo del ratio de completación del servicio:

$$\text{Ratio de completación del servicio} = \left[\frac{1 \text{ WHR}}{2.35 \text{ min.}} \right] \times \left[\frac{60 \text{ min.}}{1 \text{ hora}} \right] = 25.53 \text{ WHR / hora}$$

Para un día pico como el veinticuatro (24) de noviembre el servicio se tardaría aproximadamente diecisiete (17) horas para terminar con las 436 warehouse receipt estándar que llegan entre las once (11) y veintidós (22) horas. Asimismo, para un día bajo como el cinco (5) de noviembre el servicio se tardaría aproximadamente dos (2) horas y media en terminar las 63 solicitudes de warehouse receipt.

Cálculo del Lead Time del día pico y bajo del mes de noviembre del 2006:

$$\begin{aligned} \text{Lead Time del servicio en día bajo} &= \frac{\text{Trabajo en proceso del día bajo}}{\text{Ratio de completación del servicio}} = \frac{63 \text{ WHR}}{25.53 \text{ WHR / hora}} = 2.46 \text{ horas} \\ \text{Lead Time del servicio en día pico} &= \frac{\text{Trabajo en proceso del día pico}}{\text{Ratio de completación del servicio}} = \frac{436 \text{ WHR}}{25.53 \text{ WHR / hora}} = 17.10 \text{ horas} \end{aligned}$$

Para el día pico el servicio hubiera requerido de cinco (5) horas adicionales, y para el día bajo le hubiera sobrado nueve (9) horas y media en recursos.

Para mostrar estos valores en los días del mes en estudio, determinamos aquellos días en los que durante las once (11) y veintidós (22) horas se encuentran aproximadamente el 80% de los warehouse receipt estándar (Véase Anexo N° 10).

Una vez depurada la data, se procede a mostrar la relación que existe entre el tiempo takt y el Lead time en los días del mes de noviembre del 2006 (Véase Ilustración 3.2.2.7).

Conclusiones:

Encontramos a un servicio con una capacidad de atender aproximadamente a una velocidad de 2.35 minutos por cliente y que experimenta ritmos de demanda para los que le falta velocidad, como es el caso del día veinticuatro (24) de noviembre del 2006, en el cual el

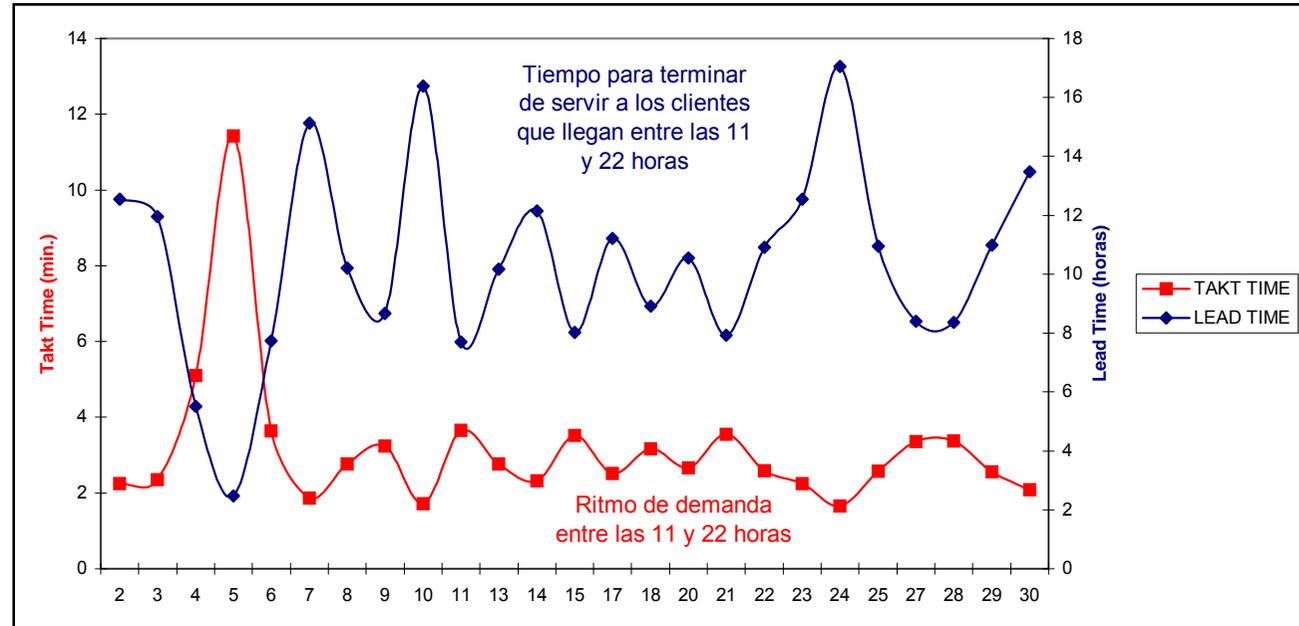
ritmo de demanda fue de 1.63 minutos por cliente. Al otro extremo encontramos al día cinco (5) del mismo mes con un ritmo lento que le permite llegar a servir a los clientes sin ningún problema; sin embargo, entre esos valores aproximadamente el 50% nos dice que el servicio experimenta un ritmo de demanda mayor al que puede responder en un mes que se espera en los años venideros sea cada vez más común.

Existiendo la expectativa de experimentar ritmos de demanda iguales o mayores al del día pico en los años 2007 y 2008, se entiende que hay que disminuir la complejidad que presentan la secuencia de operaciones relacionadas con la documentación en la emisión del Warehouse receipt (Véase Ilustración 3.2.2.2); la cual vuelve al proceso lento al volverlo complicado, y más aún cuando estas operaciones son manuales lo que hace que el servicio este afecto a factores que empobrecen su calidad como veremos en la siguiente sección.

Aún así mejorará la velocidad del servicio, la variabilidad que existe entre la cantidad de bultos y peso entre las cargas que traen los clientes al Terminal de exportación (Véase Tabla 3.2.2.1) hace muy difícil predecir el tiempo que permanecerá un determinado cliente en el proceso; por lo tanto, hace falta encontrar el comportamiento de demanda por tipo de cliente y bajo un sistema de colas determinar el tiempo en el sistema, el cual es una información vital para el agente de carga que desea programar su tiempo.

Ilustración 3.2.2.4 Tiempo Takt vs. Lead Time durante el mes de noviembre del 2006

DÍA	TAKT TIME	LEAD TIME
2	2.24	12.55
3	2.35	11.96
4	5.11	5.51
5	11.43	2.46
6	3.64	7.74
7	1.86	15.13
8	2.76	10.20
9	3.24	8.68
10	1.72	16.38
11	3.65	7.70
13	2.77	10.16
14	2.32	12.15
15	3.51	8.01
17	2.51	11.22
18	3.16	8.91
20	2.67	10.55
21	3.55	7.93
22	2.58	10.90
23	2.24	12.55
24	1.65	17.04
25	2.57	10.94
27	3.35	8.40
28	3.36	8.36
29	2.56	10.98
30	2.09	13.48



Fuente: Elaboración Propia

3.3 Causas del problema

3.3.1 Causas de problemas críticos para la calidad

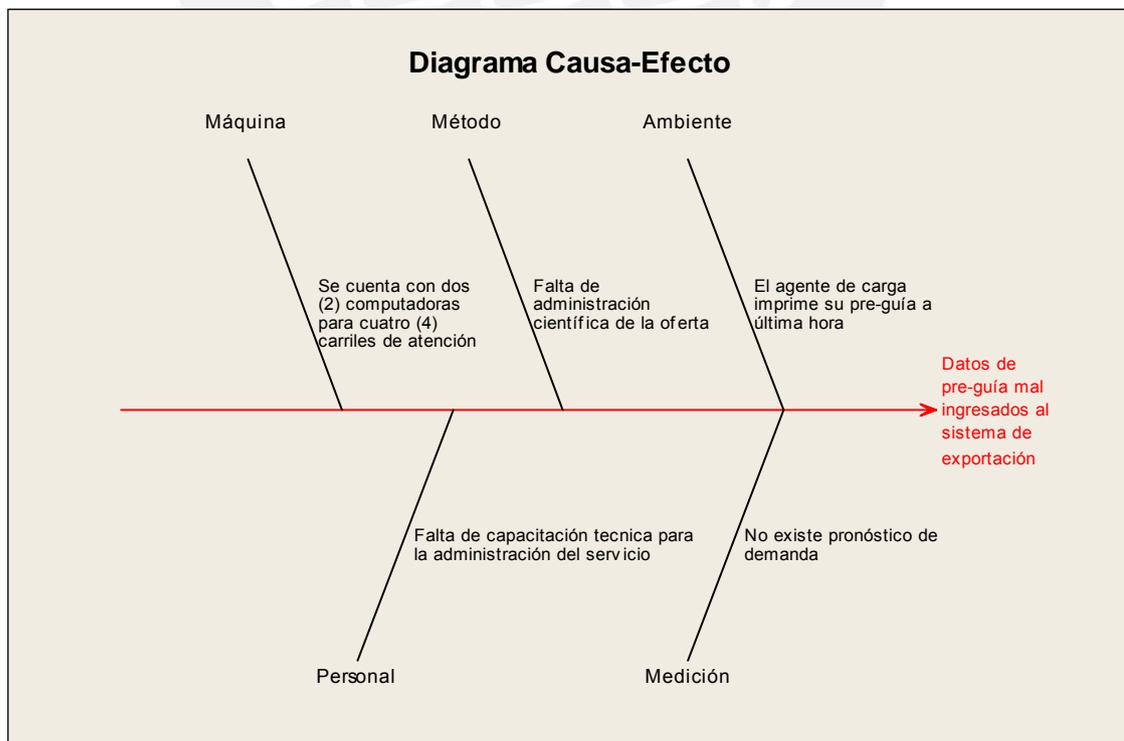
En la sección 3.2.1 se observó que el nivel sigma de los parámetros críticos para la calidad era de 3.31; sin embargo el tiempo que demandaba la emisión de warehouse receipt que es un parámetro “crítico para la entrega” (Critical to Delivery) tenía un nivel sigma de 0.92.

Para encontrar las causas del bajo rendimiento utilizaremos la herramienta de espina de pescado o diagrama de causa-efecto del profesor Doctor Kaoru Ishikawa.

Recordando, los defectos de los parámetros (Véase Tabla 3.2.1.2) eran los siguientes:

1. Datos de pre-guía mal ingresados al sistema de exportación.
2. Warehouse receipt emitidos a agentes de carga no acreditados.
3. Etiquetas de guía aérea con información incorrecta.
4. Warehouse receipt emitido con peso incorrecto.

Ilustración 3.3.1.1 Causas del defecto del parámetro: Datos de la pre-guía correctamente ingresados al sistema de exportación.



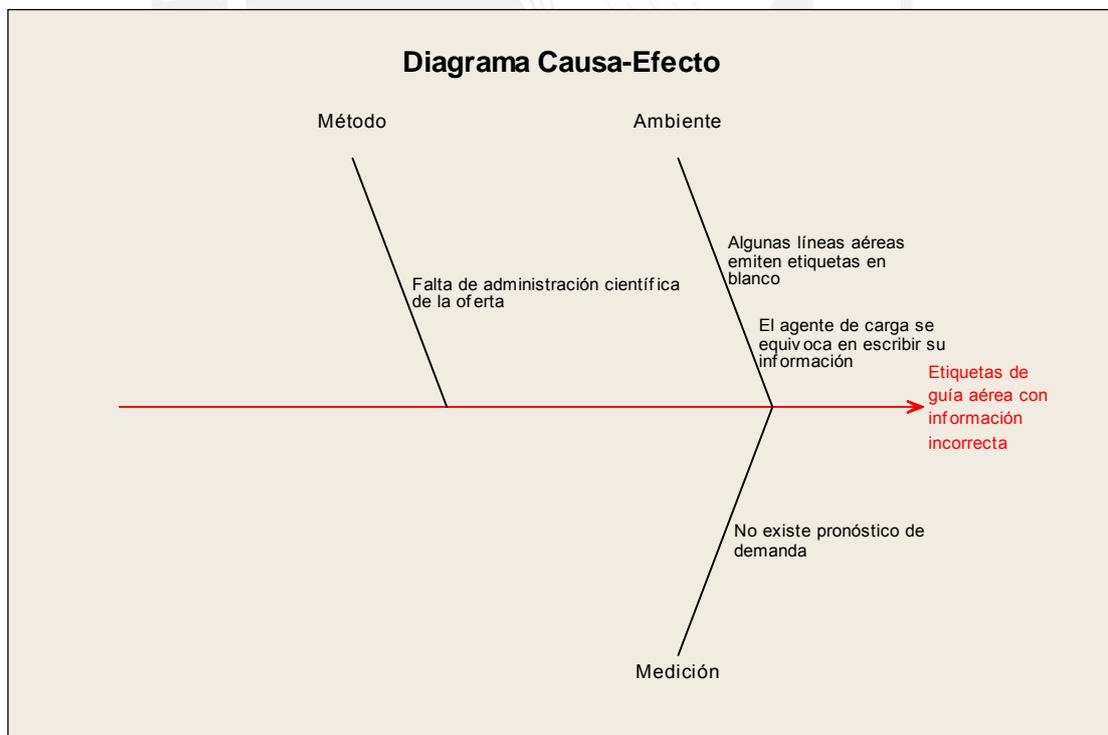
Fuente: Elaboración Propia

Las computadoras que se encuentran en los carriles de atención pueden capturar automáticamente el peso de las balanzas de dichos equipos; sin embargo, se puede apreciar en la distribución de la zona de recepción e inspección (Véase Ilustración 3.2.2.1) que sólo dos de los cuatro carriles tienen un computador al costado.

El pesado automático requiere que el digitador capture el peso de la carga inmediatamente después de acabar de ingresar los datos de la pre-guía como se observa en el flujo grama del proceso (véase Ilustración 3.1.3.2); por lo tanto, el digitador no puede ingresar otros datos hasta acabar de capturar el peso.

Siendo el pesado la actividad que más tiempo demanda, genera que el digitador experimente tiempos muertos a la espera de la finalización de dicha actividad; por lo que en horas pico deja el pesado en manos de los balanceros e ingresa las pre-guías de las cargas en espera, dejando de utilizar el pesado automático y propiciando el error humano.

Ilustración 3.3.1.3 Causas del defecto del parámetro: Carga correctamente etiquetada



Fuente: Elaboración Propia

Toda carga debe viajar con etiquetas que identifiquen a la línea aérea que la transporta, por ello, toda línea aérea emite sus etiquetas donde se registran el destino y el número de la guía. Sin embargo, la línea aérea puede emitir dichas etiquetas con los datos llenados o por llenar. De emitir etiquetas en blanco, estaría dejando en manos del agente de carga la responsabilidad del llenado y con ello la posibilidad de error humano.

Es responsabilidad del Terminal de almacenamiento el asegurarse que las cargas que van a salir del país se encuentren debidamente etiquetadas. Sin embargo, para aquellas cargas que viajan por líneas aéreas que emiten etiquetas en blanco, existe la probabilidad de que en el llenado manual de datos se haya cometido un error humano y por consiguiente la ADUANAS del país de destino retenga la carga, y los reclamos con la línea aérea y luego esta con el Terminal proveedor del servicio se susciten.

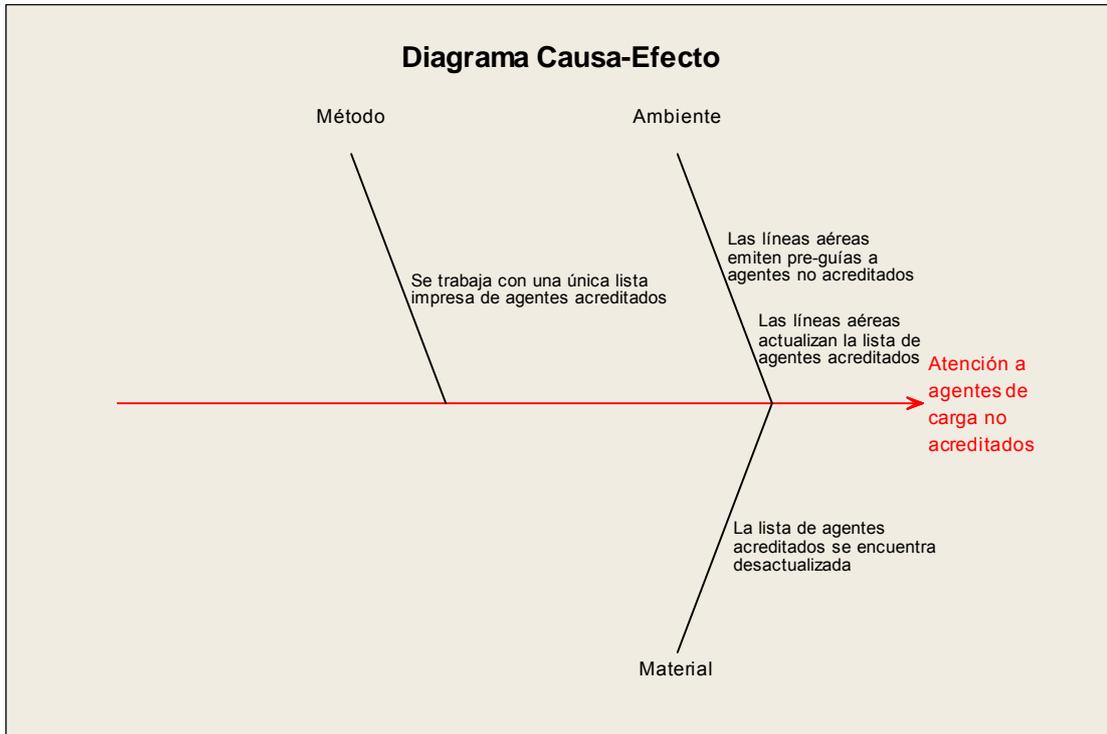
El control de la información en las etiquetas de guía aérea es durante el proceso de recepción e inspección de carga, pero al ser muchos los bultos por inspeccionar, el servicio no encuentra el tiempo para revisar la información de todas las etiquetas y por consiguiente persiste la probabilidad de error.

En el caso de la atención a agentes de carga no acreditados por la DGAC, la línea aérea informa por medio de llamadas telefónicas y correos electrónicos al Terminal proveedor del servicio la relación de agentes de carga acreditados; sin embargo esta información en algunos casos llega tarde al Terminal y este comete el error de atender agentes de carga no acreditados.

La verificación de la acreditación de los agentes de carga lo realiza el recepcionista del servicio por medio de una lista que la línea aérea emite al Terminal; de nuevo, un parámetro crítico para la calidad se encuentra sujeto a error humano.

Por otro lado, según la política comercial de algunas líneas áreas aquellos agentes de carga que se encuentran con su acreditación en trámite, están calificados para contratar los servicios de transporte de carga, pasando por los servicios del Terminal aéreo de exportación.

Ilustración 3.3.1.4 Causas del defecto del parámetro: Carga correctamente etiquetada



Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones:

Se puede observar que de las doce (12) causas encontradas, cinco (5) corresponden a la espina principal definida como "Ambiente" como bien resume la Tabla 3.3.1.1. Estos factores de ruido difícilmente pueden ser controlados con la actual forma de trabajo y son, por la naturaleza, constantes cada vez que un agente de carga es atendido; siendo estos la mayor cantidad de causas que dan como resultado un nivel sigma de 3.31.

Los factores que afectan el rendimiento de los parámetros críticos para la calidad también afectan la velocidad del servicio alargando el tiempo de emisión de warehouse receipt, debido a los re-procesos y complejidad que estos ocasionan.

Tabla 3.3.1.1 Causas de problemas críticos para la calidad

Nº	Ambiente	Método	Medición	Máquina	Personal	Material
1	El agente de carga imprime su pre-guía a última hora.	Falta de administración científica de la oferta	No existe pronóstico de demanda.	Se cuenta con dos (2) computadoras para cuatro (4) carriles de atención.	Falta de capacitación técnica para la administración del servicio	La lista de agentes de carga acreditados se encuentra desactualizada
2	Algunas líneas aéreas emiten etiquetas en blanco.	Proceso de captura de peso mal diseñado.				
3	El agente de carga se equivoca en escribir su información	Se trabaja con una lista impresa de agentes acreditados				
4	Las líneas aéreas emiten pre-guías a agentes de carga no acreditados					
5	Las líneas aéreas se equivocan al actualizar la lista de agentes acreditados					

Fuente: Elaboración Propia

Los factores de ruido vuelven complicado a cualquier sistema o proceso y por consiguiente también lo vuelven lento. Sin embargo, antes de priorizar cualquier causa de los problemas críticos para la calidad, evaluaremos la criticidad de estas causas en el análisis de modos de falla y efectos del servicio (AMFE).

3.3.2 Causas del problema de la velocidad

Al medir la velocidad identificamos que las horas pico de la atención del servicio se encontraban entre la once (11) y veintidós (22) horas, pues es en ese periodo de tiempo que aproximadamente el 80% de todas las solicitudes de atención llegan a este. También observamos que en ese periodo de doce (12) horas, para días pico como el veinticuatro (24) de noviembre, el servicio no se da abasto para terminar de atender a más de 307 solicitudes estándar utilizando sus cuatro carriles a una capacidad de atención de aproximadamente 2.35 minutos por warehouse receipt estándar.

Para días pico como el veinticuatro (24) de noviembre se estima que el servicio hubiera requerido de aproximadamente diecisiete (17) horas para terminar de servir a las solicitudes que llegan entre las once (11) y veintidós (22) horas. Para ese mismo día, el tiempo takt es de 1.65 minutos por warehouse receipt estándar, lo cual es bastante más rápido que el servicio con sus cuatro carriles de atención operativos.

En la sección 3.1.2 se dijo que uno de los indicadores de la empresa era el “tiempo promedio de emisión de warehouse receipt”, el cual se media semanalmente y carecía de referencia de comparación:

$$\text{Tiempo promedio de emisión de WHR} = \frac{\text{Total tiempo (min)}}{\text{Total de warehouse}}$$

Sabiendo que las cargas de las solicitudes a atender son muy variables respecto a los kilos y bultos que traen a la zona de “recepción e inspección”, el indicador solamente arroja un estimado de cuánto tiempo experimenta un agente de carga durante el proceso.

A parte que no tener referencia o valor de comparación, la desviación estándar que arroja dicho indicador es tan elevada que lo vuelve poco confiable y no ayuda en la toma de decisiones operativas del servicio.

Para estudiar a los tiempos de las solicitudes de atención en proceso fue necesario recurrir a la empresa donde se realizó el estudio y consultar en su base de datos los tiempos que se experimentaron entre las once (11) y veintidós (22) horas durante el mes de noviembre y particularmente, en los días picos.

Una vez obtenidos los datos, se decidió analizar aquellos que hacían referencia a los warehouse receipt del tipo “A” que se eligió para estandarizar la demanda con el fin de medir la velocidad del servicio. Estos warehouse receipt tipo “A” tenían la peculiaridad de tener cargas entre uno (1) y cinco (5) bultos y un peso entre 0.01 y 50 kilos. (Véase Anexo N° 7)

En la Tabla 3.2.2.3 se muestran los cuatro tiempos promedios estimados para los warehouse receipt tipo “A”, diferenciados por dos condiciones:

Los carriles por donde son servidos (Véase Ilustración 3.2.2.3):

- a. Carriles uno (1) y dos (2)
- b. Carriles tres (3) y cuatro (4)

Si existe inspección física (Véase flujo grama en Ilustración 3.1.3.2):

- a. Con inspección física
- b. Sin inspección física.

Para aquellas cargas que no pasaban por inspección física sus tiempos promedio de emisión eran los siguientes:

- a. Carriles uno (1) y dos (2) Tiempo promedio: 7.82 min.
- b. Carriles tres (3) y cuatro (4) Tiempo promedio: 7.63 min.

Sin embargo, debido a que en las horas pico se generan colas, los tiempos que experimentan los agentes de carga son bastante mayores. Con una muestra de 186 datos se determinó a un 95% de confianza que estos tiempos se ajustan a una distribución gama con parámetros “a” igual a 8.101, “ λ ” igual a 0.499 y “ θ ” igual a 0.00 de la fórmula:

$$f(x) = \frac{\lambda^a (x - \theta)^{a-1} \exp[-\lambda(x - \theta)]}{\Gamma(a)}, \quad x > \theta, a > 0, \lambda > 0$$

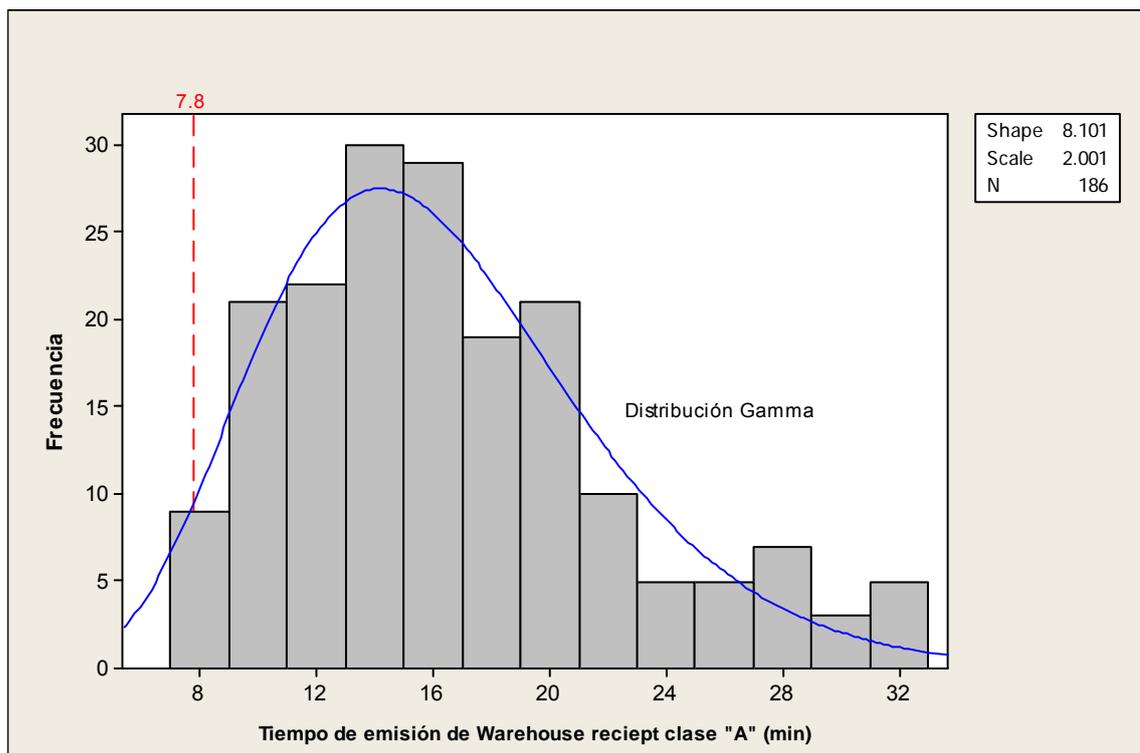
Donde la media y varianza de los tiempos de espera en proceso son:

- a. Media = $a \lambda^{-1} + \theta$ = 16.21 minutos
- b. Varianza = $a \lambda^{-2}$ = 32.43 minutos²

Estos tiempos se visualizan en la Ilustración 3.3.2.1 elaborada en el programa estadístico MINITAB donde se muestran los siguientes parámetros:

- Shape = "a" = 8.101
- Scale = " λ^{-1} " = 2.001

Ilustración 3.3.2.1 Distribución de los tiempos en proceso de las Warehouse receipt tipo "A" que no pasan por inspección física

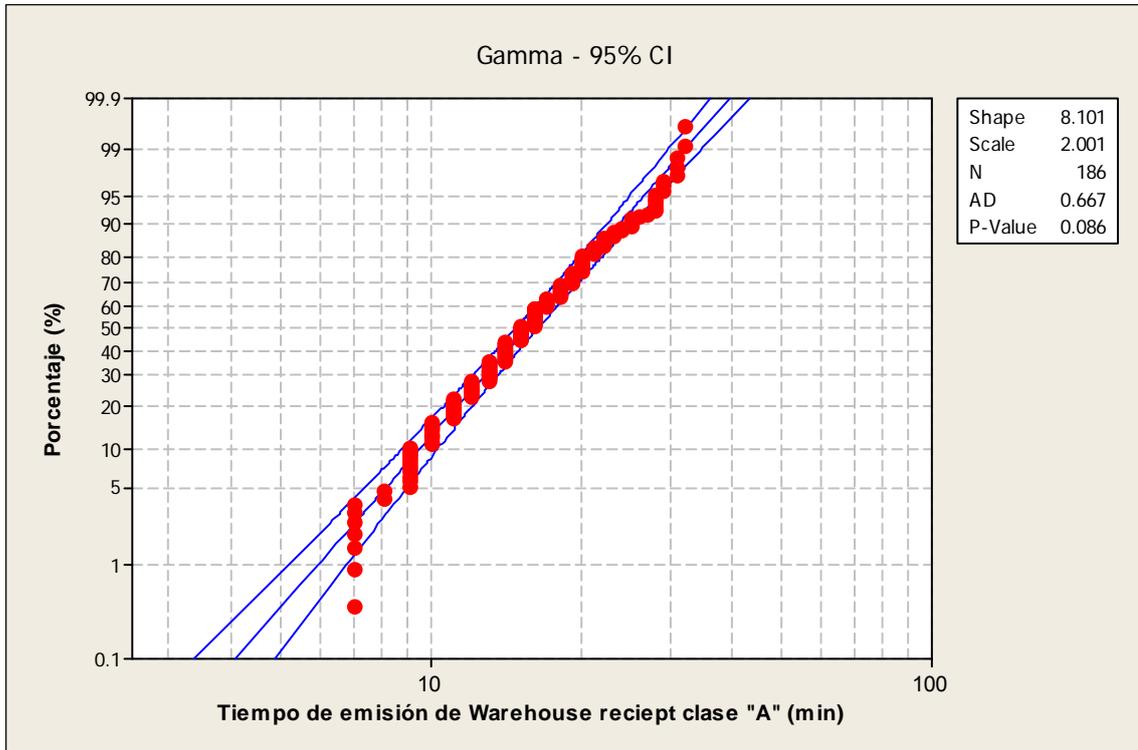


Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la ilustración de arriba, el tiempo promedio estimado para la emisión del warehouse receipt tipo "A" dista mucho del tiempo que los agentes de carga experimentan mientras son atendidos durante las once (11) y veintidós (22) horas.

La hipótesis de la distribución de los tiempos es corroborada por un análisis a un 95% de confianza de los 186 datos de la muestra. Dicho análisis muestra un P-Value de 0.086, el cual es mayor 0.05 que es el valor mínimo requerido para aceptar la hipótesis.

Ilustración 3.3.2.2 Gráfico de probabilidad para los tiempos en proceso de las Warehouse receipt tipo “A” que no pasan por inspección física



Fuente: Elaboración Propia

En el caso de los Warehouse receipt que pasan por inspección física encontramos dos casos, aquellos en los que interviene DIRANDRO para la inspección de contenido ilícito de drogas y en los que no interviene DIRANDRO.

Para aquellos casos en los que la inspección física se realiza sin DIRANDRO, los tiempos en proceso se ajustan con un 95% de confianza a una distribución gama con parámetros “a” igual a 4.989, “λ” igual a 4.987 y “θ” igual a 0.00

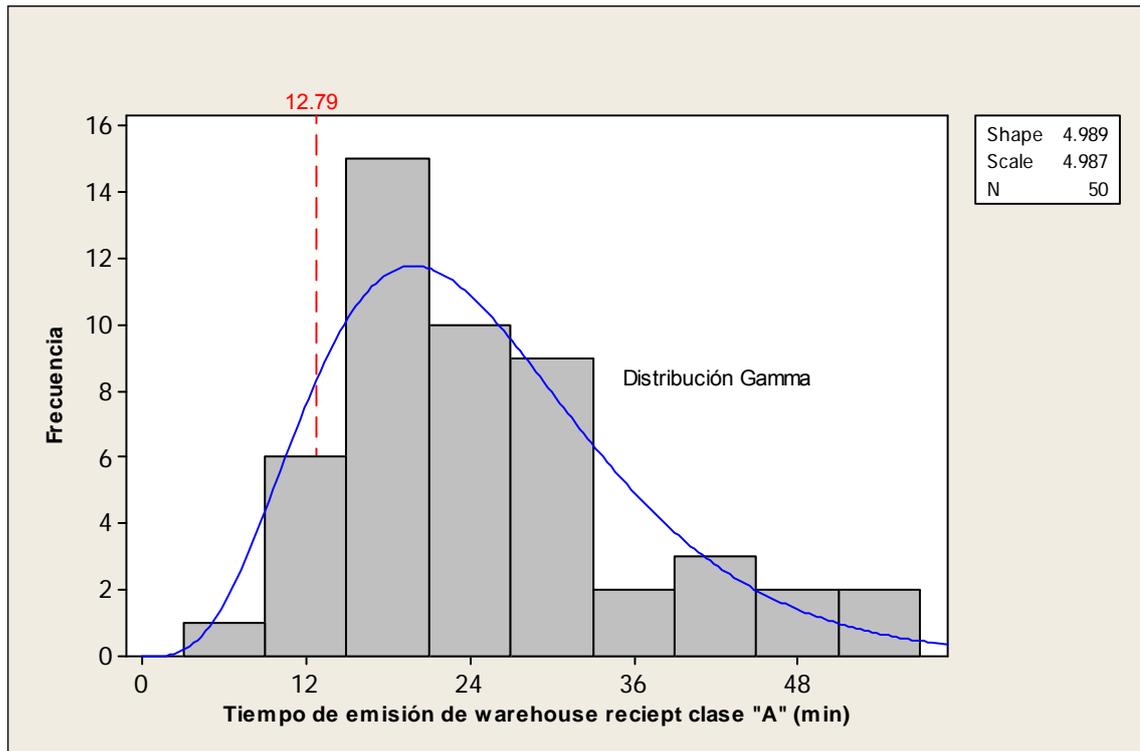
Donde la media y varianza de los tiempos de espera en proceso son:

a. $Media = a \lambda^{-1} + \theta = 24.88 \text{ minutos}$

b. $Varianza = a \lambda^{-2} = 124.08 \text{ minutos}^2$

Como se muestra en la Ilustración 3.2.2.3, el tiempo promedio estimado para la emisión del warehouse receipt tipo “A” que pasan por inspección física, dista mucho del tiempo que los agentes de carga experimentan mientras son atendidos entre las once (11) y veintidós (22) horas, llegando a experimentarse tiempos de hasta 56 minutos.

Ilustración 3.3.2.3 Distribución de los tiempos en proceso de las Warehouse receipt tipo “A” que pasan por inspección física sin DIRANDRO

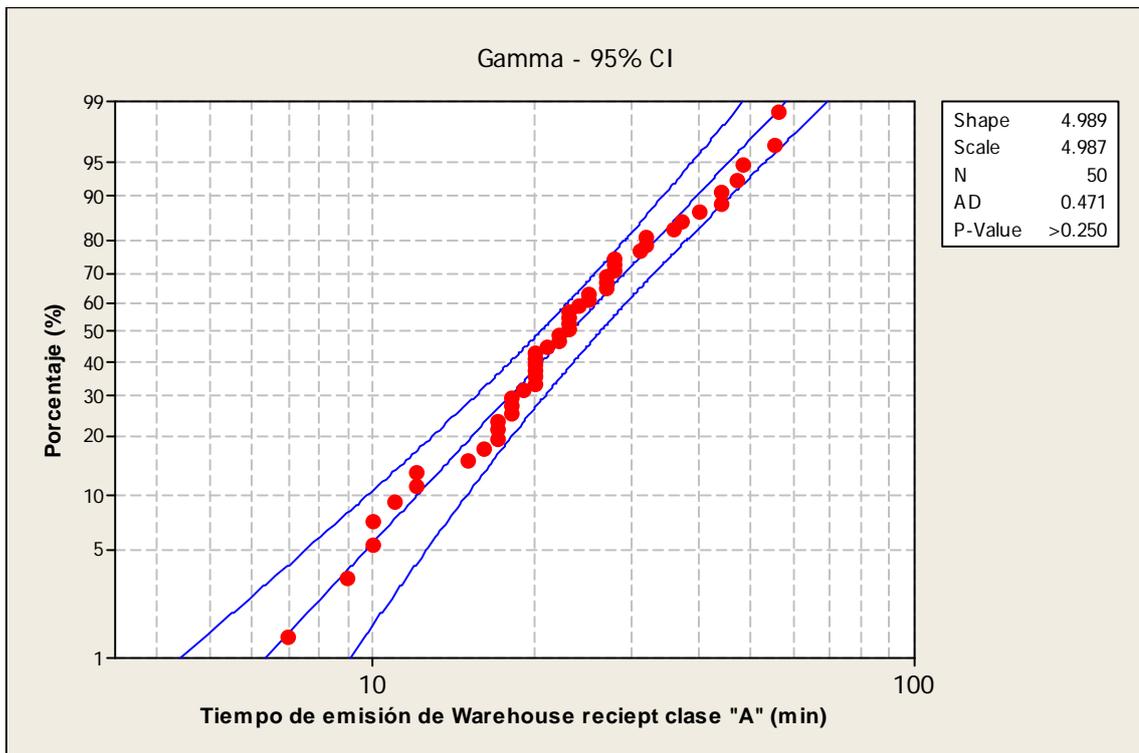


Fuente: Elaboración Propia

Con una muestra de 50 datos la hipótesis de la distribución gama para los tiempos en proceso es validada por un P-Value de 0.250, el cual es bastante mayor a 0.05 que es el valor mínimo requerido para aceptar la hipótesis. Dicho análisis de datos se muestra en la Ilustración 3.3.2.4.

Sin embargo, para el caso de aquellos warehouse receipt que aparte de pasar por una inspección física por parte del personal de seguridad que contrata la empresa, pasan por una inspección del personal de DIRANDRO, experimentan tiempos en proceso mayores debido a que los tiempos están sujetos al tiempo de respuesta del personal de DIRANDRO, lo cual ocasiona “ruido” en el servicio.

Ilustración 3.3.2.4 Gráfico de probabilidad para los tiempos en proceso de las Warehouse receipt tipo "A" que pasan por inspección física

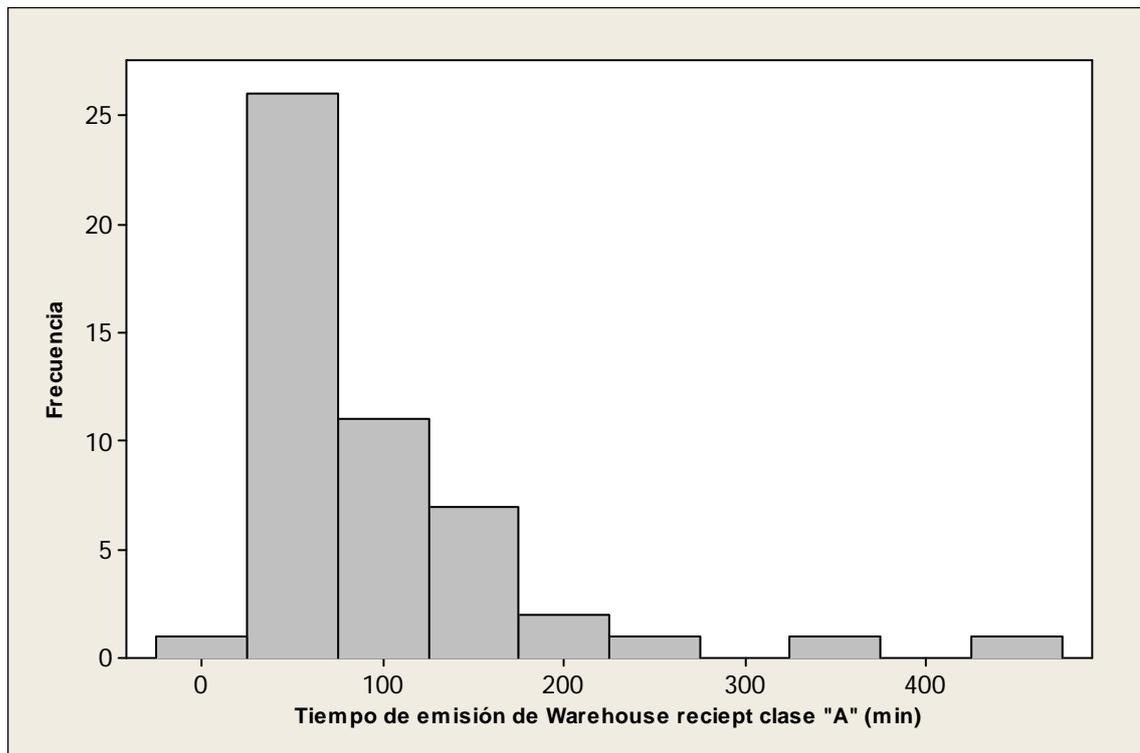


Fuente: Elaboración Propia

Con una muestra de 50 datos se observó que aquellas cargas que pasan por una inspección física del personal de DIRANDRO llegan a experimentar tiempos de hasta 442 minutos (siete horas y veintidós minutos). Este tiempo definitivamente se prolongaría para cargas con mayor cantidad de bultos que aquellas del tipo "A".

Al realizar el histograma de los tiempos en proceso de dichas cargas (Véase Ilustración 3.3.2.5) con los 50 datos de la muestra se obtuvo una media aritmética de 88.61 minutos y una desviación estándar de 63.49 minutos, lo que quiere decir que dicho promedio no es confiable; sin embargo, al intentar ajustar dicha data a una distribución estadística no se encontró ningún ajuste como se muestra en la Ilustración 3.3.2.6 al obtener un P-value de 0.015, menor a 0.05 que es el valor mínimo aceptable para aprobar la hipótesis de que los tiempos en espera se ajustaban a una distribución gama.

Ilustración 3.3.2.5 Histograma de los tiempos en proceso de las Warehouse receipt tipo "A" que pasan por inspección física del personal de DIRANDRO



Fuente: Elaboración Propia

Cabe mencionar que según la empresa donde se realizó el estudio, aproximadamente sólo el 1% de todas las cargas que pasan por el servicio requieren de la inspección física del personal de DIRANDRO y son básicamente aquellas que traen un embalaje muy difícil de abrir.

Si bien aproximadamente sólo el 1% de las cargas pasan por una inspección del personal de DIRANDRO, estas prolongan los tiempos que experimentarían los agentes de carga que se encuentran en cola, por lo tanto es una de las causas de la baja velocidad del servicio.

Sin embargo, pasando a causas más crónicas tenemos un claro problema de colas en el servicio. Al elaborar una línea de tiempo para los seis (6) posibles flujos que se experimentan de acuerdo al flujo grama del proceso (Véase Anexo N° 11), se determinó que de las cinco (5) etapas del servicio, las etapas que más tiempo consumen son "Inspección e ingreso" e "Inspección manual"; más aún son en estas etapas donde se manipulan los bultos de las cargas, por lo tanto, conforme se sirvan a cargas con mayor cantidad de bultos que las del tipo "A", los tiempos de estas etapas se incrementarán.

Para el caso de las otras tres (3) etapas restantes, sin importar de cuantos bultos o kilos se trate la solicitud a atender siempre consumirán la misma cantidad de tiempo a lo largo del servicio.

Al medir la velocidad del servicio, se estimó que el tiempo que se requeriría para terminar con todas las solicitudes de atención que llegaban entre las once (11) y veintidós (22) horas sería de 17 horas, asumiendo que una solicitud de atención empieza a ser servida inmediatamente después que la anterior termina de pasar por todas las etapas del servicio. Sin embargo, en la práctica las colas no son generadas al inicio de las etapas del servicio, sino son generadas al encontrar la etapa que supera el tiempo takt de la demanda de atención.

Al servicio llegan veinticinco (25) tipos de warehouse receipt y todos con mayor cantidad de bultos y kilos que los del tipo "A", lo que explica que para los warehouse receipt tipo "A" el tiempo de emisión tenga un promedio de 16.21 minutos y 24.88 minutos cuando este pasa por la etapa de "Inspección manual" o "Inspección física".

Si bien el tiempo takt calculado ayuda a entender la capacidad de respuesta que debe tener el servicio, no es suficiente para determinar el tiempo en proceso que experimentan los agentes de carga en este debido a la alta variabilidad en la cantidad de bultos y kilos de las cargas a ser servidas.

Por lo tanto, una de las causas de la baja velocidad del servicio es que se trata de medir a todos los warehouse receipt por igual metiendo todos los tiempos en procesos a un solo indicador que a su vez no dice nada, lo que hace que ante los ojos del cliente el servicio siempre sea lento.

A un agente de carga que llega al Terminal con una determinada cantidad de bultos y kilos le interesa saber cuánto tiempo permanecerá en el servicio para que de esa forma pueda realizar otros trámites y no se vea perjudicado por la espera que experimentará en este. Por ejemplo, de ser informado que por el tipo de carga que ha traído al Terminal va a permanecer aproximadamente 50 minutos lo más probable es que decida programar su tiempo para realizar otras actividades fuera del Terminal o de lo contrario, permanezca en este.

Por lo tanto, para poder estimar los tiempos en proceso que experimentarán los veinticinco (25) tipos de warehouse receipt es necesario realizar un estudio de colas.

Un buen administrador del servicio trataría de reconocer el equilibrio que debe haber entre el costo de proporcionar un buen servicio y el costo de tiempo de espera del cliente, con el fin de que las colas sean lo suficientemente cortas para que los clientes no se irriten y se retiren sin llegar a utilizar el servicio. (Véase Anexo N° 12)

Sin embargo, en este caso el servicio es contratado por la línea aérea, por lo que los agentes de carga no son los clientes directos del servicio, sino más bien cautivos, por lo tanto el administrador del servicio no siente un costo de espera y las quejas que emiten los usuarios no son tan “importantes” sino hasta que son comunicadas a la línea aérea y esta a su vez realiza la observación correspondiente.

Para un proyecto como el de Lima cargo city en el que se espera servir a todas las líneas aéreas de los tres principales Terminales aeroportuarios, la capacidad del servicio de manipuleo y almacenaje aéreo de exportación, en su proceso de recepción y almacenaje de carga, debe ser capaz de satisfacer a todos los agentes de carga de estas líneas aéreas y sí tiene un costo el no poder hacerlo.

El modelo de colas del proceso de recepción e inspección de carga es un modelo compuesto por dos configuraciones básicas de sistemas de colas:

1. Sistema multifase de un solo canal
2. Sistema multicanal multifase

Estas dos configuraciones se muestran en el Anexo N° 13 y se observa que las etapas que tienen una configuración multifase de un solo canal son aquellas que se encuentran relacionadas con el manejo de documentos:

- a. Autorización del servicio
- b. Recepción de datos del cliente
- c. Emisión de documento de recepción

El proceso de recepción e inspección debe cumplir con las normas y regulaciones impuestas por de la DGAC y SUNAT al momento de ingresar carga al Terminal de aduanero. Para dicho propósito el proceso emite un warehouse receipt en el cual, la única información que se genera al emitir dicho documento es la de cantidad de kilos y cantidad de bultos, todo lo demás corresponde a datos provenientes de otras fuentes como lo es la pre-guía que emite la línea aérea.

La digitación de datos es una actividad que no genera valor al servicio y por lo tanto, forma parte de la “muda” del mismo, y a pesar de ser una obligación en la ejecución del actual proceso, es a su vez una causa de la baja velocidad del mismo.

Resumiendo, en la presente sección se determinaron las siguientes causas de la baja velocidad del servicio y sus efectos:

1. Inspección del personal de DIRANDRO, debido a que dicha inspección dilata el tiempo del proceso de 24.88 minutos en promedio (WHR tipo “A”) a 64.49 minutos.
2. Falta de un análisis de parámetros del modelo de cola del servicio que dificulta la administración de la oferta.
3. Falta del cálculo del costo de espera del cliente para toma de decisiones operativas.
4. Re-procesos causados por defectos en los parámetros críticos para la calidad.
5. La digitación de datos de fuentes externas a las del Terminal de exportación, porque son tareas que agregan valor al servicio y consumen recursos.

La criticidad de las causas de la baja velocidad del servicio las relacionaremos con las de baja calidad del servicio en el análisis de modos de falla (AMFE).

3.4 Análisis de los modos de falla

El objetivo de esta sección será identificar características críticas del servicio y sus variables para con ello priorizar las deficiencias de este y de esa forma apoyar con acciones de mejora en el rendimiento de su calidad. El cálculo, que priorizará las deficiencias del servicio, se denomina “Índice de prioridad de riesgo” y consta de multiplicar valores de severidad, ocurrencia y detección de cada modo de falla.

Tabla 3.4.1 Leyenda de valores de severidad, ocurrencia y detección

PUNTAJE	SEVERIDAD	OCURRENCIA		DETECCIÓN
10	Cierre del negocio: Suspensión de 30 días	1 en 20	Siempre	Muy remota
9	Cierre de contrato con una Línea aérea	1 en 50	Muy alto	Muy remota
8	Suspensión de máximo tres (03) días	1 en 100	Muy alto	Muy baja
7	Multas de mayores o iguales a 05 UIT	1 en 200	Muy alto	Muy baja
6	Multas de 01 a 04 UIT	1 en 500	Alto	Baja
5	Pago de reclamos de los clientes de las líneas aéreas	1 en 1,000	Alto	Moderada
4	Re-proceso del servicio	1 en 5,000	Alto	Alta
3	Tramites aclaratorios por errores en la pre-guía	1 en 10,000	Moderado	Alta
2	Quejas de los clientes de la L.A. por demoras	1 en 20,000	Bajo	Alta
1	Modificación de la Warehouse Receipt	1 en 50,000	Remoto	Muy alta

Fuente: Instituto para la Calidad - Curso de Black Belt – Módulo 09 AMFE 2001

Habiéndose encontrado causas para los problemas de baja velocidad y calidad por separado, en esta sección relacionaremos dichas causas para plantear propuestas de mejora integrales.

Tabla 3.4.2 Modos de falla y causa preliminar en el proceso

Nº	MODO DE FALLA	CAUSA PRELIMINAR
1	Etiquetas de línea aérea con información incorrecta	El personal no se percató de etiquetas con datos no correspondientes a la carga a exportar.
2	Warehouse receipt emitido con peso incorrecto	Por ingresar datos de pre-guía de otras cargas, el digitador se distrae e ingresa el peso de una carga a otra.
3	Datos de pre-guía mal ingresados al sistema de exportación	El recepcionista asume un dato no legible de la pre-guía por la presión de la demanda del servicio.
4	Warehouse receipt emitido a agente de carga no acreditados	Lista de agentes de carga desactualizada.
5	Tiempo de emisión elevado	Los cinco (5) modos de falla arriba mencionados.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.4.3 Análisis de modos de falla y efectos del proceso (1 de 2)

Nº	MODO DE FALLA	EFFECTO DE LA FALLA	S E V	CAUSA PRELIMINAR	CAUSAS	O C C	CONTROLES	D E T	R P N	PRIORIZA CIÓN
1	Etiquetas de línea aérea con información incorrecta	Multas Aduaneras en Destino que asume la empresa de servicios aeroportuarios. Pueden ascender a US\$ 5000	6	El personal no se percata de etiquetas con datos no correspondientes a la carga a exportar.	Algunas líneas aéreas emiten etiquetas en blanco. El agente de carga se quivoca en escribir su información. Falta de administración científica de la oferta No existe pronóstico de demanda	3	No existe No existe Programación Semanal del personal operativo Conocimiento empírico	5	90	5
2	Warehouse receipt emitido con peso incorrecto	La línea aérea deja de cobrar por los kilos que está transportando y la empresa de servicios aeroportuario asume la pérdida. El avión se estrella por el exceso de peso y la empresa proveedora del servicio asume los gastos de la pérdida.	8	Por ingresar datos de pre-guía de otras cargas, el digitador se distrae e ingresa el peso de una carga a otra.	Proceso de captura de peso mal diseñado Se cuenta con dos (2) computadoras para cuatro (4) carriles de atención. Falta de administración científica de la oferta No existe pronóstico de demanda	4	Procedimiento estándar de Recepción e Inspección. No existe Programación semanal del personal operativo. Conocimiento empírico.	5	160	2
3	Datos de pre-guía mal ingresados al sistema de exportación	Comprar un CCA (Cargo Charges Corrections Advice). Su valor es de 35 nuevos soles.	3	El recepcionista asume un dato no legible de la pre-guía por la presión de la demanda del servicio.	El agente de carga imprime su pre-guía a última hora Falta de administración científica de la oferta No existe pronóstico de demanda	6	No existe Programación semanal del personal operativo. Conocimiento empírico.	5	90	4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.4.3 Análisis de modos de falla y efectos del proceso (2 de 2)

Nº	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	S E V	CAUSA PRELIMINAR	CAUSAS	O C C	CONTROLES	D E T	R P N	PRIORIZ ACIÓN
4	Warehouse receipt emitido a agente de carga no acreditados	Multa por incumplimiento de las regulaciones aeronáuticas de la DGAC. Su valor es de 15 UIT.	7	Lista de agentes de carga desactualizada.	Las líneas aéreas emiten pre-guías a agentes de carga no autorizados. La lista de agentes acreditados se encuentra desactualizada.	3	No existe Correos electrónicos de las líneas aéreas con la lista de agentes de carga adjuntada.	5	105	3
5	Tiempo de emisión elevado	Re-etiquetado de bultos. Aprox. 3.18 minutos adicionales. Re-pesado. Aprox. 5.14 minutos adicionales. Re-digitación de pre-guía. Aprox. 0.84 minutos adicionales. Anulación de la Warehouse receipt. Aprox. 9.87 minutos Quejas por esperas (aprox. 40 minutos)	4	Los cinco (5) modos de falla arriba mencionados.	Todas las causas arriba mencionadas. No existe un modelo de colas que mejore la administración del servicio. Intervención tardía del personal de DIRANDRO.	7	Todas las controles arriba mencionadas. No existe No existe	7	196	1

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones:

Los valores RPN determinarán la prioridad de los modos de falla mostrados en la Tabla 3.4.1. Eliminar o reducir la frecuencia de los modos de falla reducirá los defectos del proceso de recepción e inspección y del servicio aeroportuario aumentando el nivel sigma, así como a su vez reduciendo su tiempo de servicio y su complejidad.

Algunas de las causas planteadas para los modos de falla, mostradas en la Tabla 3.4.1, son comunes, por ejemplo el hecho que no exista un pronóstico de demanda diaria del servicio es un problema para administrar los recursos que afecta al modo de falla de las etiquetas de las líneas aérea con información incorrecta, así como los pesos incorrectos de las carga en los warehouse receipt. Para estos modos de falla comunes se buscaran soluciones comunes; sobre todo porque toda mejora para estos modos de falla debe afectar el tiempo de servicio.

Para enfocarse correctamente en las mejoras para reducir el tiempo en el servicio y el tiempo en cola, se realizará un modelo del sistema el cual se simulará las veces que sea necesario para construir un mapa de flujo de valor confiable a un 95% que nos indique que etapas u operaciones atacar para obtener un mejor rendimiento del servicio.

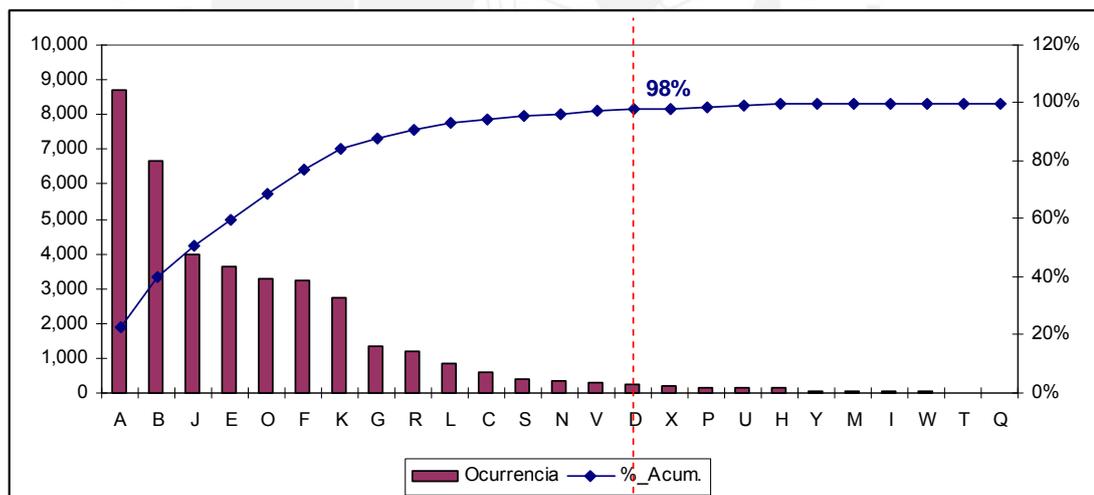
3.5 Modelamiento y análisis del proceso de recepción e inspección de carga

Las entidades dinámicas que reciben el servicio son los warehouse receipt definidos en las secciones anteriores; estos al moverse a través del sistema, son servidos por entidades estáticas que se comportan como recursos, las cuales serán dadas a conocer más adelante al momento de definir las operaciones por las que pasarán estas entidades dinámicas.

El conocimiento del comportamiento de las entidades dinámicas nos lleva a medir sus tasas de llegada o tiempo entre llegada, por lo que se extrajo de las tablas de la base de datos de la empresa en estudio las horas de llegada de las entidades del modelo en el mes de noviembre del año 2006, que es el mes pico de ese año.

De los 38,218 warehouse receipt que utilizamos para clasificar la demanda del servicio, el 98% de estos lo conforman quince (15) tipos de warehouse receipt. (Véase Tabla 3.2.2.2). Con estos se trabajará para hallar el comportamiento de la demanda.

Ilustración 3.5.1 Pareto de la ocurrencia de los tipos de warehouse receipt



Fuente: Elaboración Propia

El comportamiento de los tiempos entre llegadas se ajusta a distribuciones estadísticas que deben tener un valor P-value mayor o igual a 0.05 para asegurar su validez. Ello se determinará mediante la prueba Chi cuadrado y/o la prueba Kolmogorov Smirnov.

Para determinar la bondad de ajuste de las funciones de distribución de probabilidad a los datos de entrada se usó el Input Analyzer de ARENA, que es un software estadístico de gran alcance y permite observar el mejor ajuste a una determinada data, basándose sobre todo en el criterio del cuadrado del

error (e^2), que se define como:

$$e^2 = \sum_{i=1}^n (f_i - f(x_i))^2 \dots \text{ecuación 3.5.1}$$

Donde,

f_i : La frecuencia relativa de los datos para el i-ésimo intervalo.

$f(x_i)$: La frecuencia relativa para la función de distribución ajustada de la probabilidad.

Los informes que este software emite al ajustar una data a una determinada distribución estadística se encuentran en el Anexo N° 14.

Tabla 3.5.1 Tiempos entre llegadas

Tipo	Distribución	Expresión	P-Value	Tamaño de muestra	Esperanza (min)	Varianza (min ²)
A	Beta	8.5 + 29 * BETA(0.792, 1.64)	0.425	284	18	54
B	Beta	10.5 + 67 * BETA(0.648, 2.09)	0.0884	239	26	217
J	Beta	8.5 + 83 * BETA(0.702, 1.44)	0.75	237	36	483
E	Gamma	15.5 + GAMM(4.97, 4.39)	0.0644	225	37	96
O	Beta	14.5 + 65 * BETA(0.577, 0.885)	0.0743	221	40	410
F	Beta	25.5 + 39 * BETA(2.31, 2.76)	0.75	219	43	62
K	Beta	15.5 + 68 * BETA(0.741, 1.11)	0.148	194	43	389
G	Weibull	30 + WEIB(132, 0.81)	0.117	195	137	87
R	Weibull	1 + WEIB(122, 0.824)	0.156	190	102	83
L	Beta	56 + 1.35e+003 * BETA(0.512, 1.38)	0.105	79	432	131,868
C	Beta	14 + 1.37e+003 * BETA(0.611, 0.925)	0.137	134	559	177,293
S	Beta	7 + 1.41e+003 * BETA(0.386, 0.609)	0.114	75	524	220,428
N	Beta	1 + 1.39e+003 * BETA(0.39, 0.658)	0.25	78	518	220,428
V	Beta	14 + 1.39e+003 * BETA(0.511, 0.555)	0.208	76	680	233,399
D	Beta	1 + 1.42e+003 * BETA(0.417, 0.498)	0.0934	55	648	261,175

Fuente: Elaboración Propia

La data fue obtenida de las horas pico, es decir, entre las 11 y 22 horas. Se puede observar que existe mucha variabilidad entre los tiempos entre llegadas.

Esta variabilidad en los tiempos de llegada y en los bultos de cada entidad es la principal fuente de variabilidad en los tiempos de espera y en el sistema que las entidades pasan en el servicio.

Las unidades de las entidades dinámicas son:

- a. Bulto
- b. Parihuela
- c. Warehouse Receipt

La cantidad de bultos se distribuye de una determinada forma por cada tipo de warehouse receipt; determinar cómo, precisará el tiempo total en el sistema o proceso de recepción que pasan los agentes de carga. (Véase Anexo N° 15)

Tabla 3.5.2 Distribución de bultos por Warehouse receipt

N°	Bultos		Recurso	Distribución	Expresión	P-value	WHR
	Inf	Sup					
1	1	5	PERSONA	Empírica	DISCRETE(0.0,0.5,0.682,1.5,0.859,2.5,0.932,3.5,0.978,4.5,0.978,5.5)		A
2	1	5	ESTOCA	Uniforme	UNIF(0.5, 5.5)	0.19	B C
3	1	5	MONTACARGA	Uniforme	UNIF(0.5, 5.5)	0.07	D
4	5	15	PERSONA	Pisson	POIS(9.17)	0.08	E
5	5	15	ESTOCA	Uniforme	UNIF(5.5, 15.5)	0.24	F G
6	15	50	PERSONA	Beta	15.5 + 35 * BETA(0.794, 1.37)	0.59	J K
7	15	50	ESTOCA	Weibull	15.5 + WEIB(13.6, 1.37)	0.40	L
8	50	150	PERSONA	Beta	66 + 77 * BETA(2.75, 1.8)	0.14	N O
9	150	300	PERSONA	Triangular	TRIA(151, 160, 300)	0.09	R
10	150	300	ESTOCA	Uniforme	UNIF(156, 300)	0.08	S
11	300	500	ESTOCA	Uniforme	UNIF(306, 498)	0.23	V

Fuente: Elaboración Propia

Los recursos que sirven a las entidades se presentan en la Tabla 3.5.3.

Tabla 3.5.3 Recursos del proceso de Recepción e inspección de carga

N°	Recurso	Cantidad
1	Agente de seguridad	2
2	Balancero	4
3	Binomio canino	2
4	Digitador	2
5	Inspector de rayos X	4
6	Montacarga	1
7	Operario	8
8	Personal externo	8
9	Recepcionista	2
10	Supervisor	1

Fuente: Elaboración Propia

Las tasas de servicio se definen por la distribución de los tiempos de servicio o tiempos de las operaciones del proceso mostrados y ajustados a distribuciones de probabilidades en el Anexo N° 16.

Las operaciones del servicio, definidas por la unidad de la entidad que sirven y al recurso que utilizan (Véase Anexo N° 17), tienen una variabilidad mínima pues sus tiempos promedios se encuentran a un 95% de confianza y corresponden a actividades rutinarias con coeficientes de variación (C.V.) menores a 0.18. Debido a ello, a muchas operaciones que se relacionan a una actividad con las características arriba mencionadas se les asigna un valor constante (Véase Anexo N° 18).

Obtenidos los tiempos entre llegadas de las entidades y las tasas de servicio se elabora el diagrama de bloques, que no es sino un diagrama de flujo que describe el movimiento de las entidades a través del sistema. Dicho modelo, elaborado en el programa ARENA se puede apreciar en el Anexo N° 19.

El sistema del modelo es un sistema Terminal pues su análisis es entre las 11 y 22 horas del día. Con 30 réplicas o corridas de la simulación se obtuvo valores promedio, mínimos y máximos de los tiempos en el sistema (Véase anexo N° 20). El ancho de los intervalos se obtuvo de la siguiente relación:

$$h = t_{1-\alpha/2, n-1} s_{\bar{x}} = t_{1-\alpha/2, n-1} \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

Donde h es la mitad del ancho del intervalo y el valor de $t_{1-\alpha/2, n-1}$ se obtiene de la tabla T-Student. Con un α igual a 0.05 obtenemos un intervalo de 95% de confianza.

Se desea que el ancho de intervalo sea aproximadamente 5% del valor del promedio (h^*) para mayor exactitud; para ello utilizaremos la siguiente fórmula:

$$n^* = \left[n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \right]$$

Donde n^* es la cantidad de réplicas necesarias para obtener un intervalo al 95% de confianza. Los cálculos se aprecian en el Anexo N° 21.

Al determinar la cantidad de muestras o réplicas necesarias, se obtuvo que para los warehouse receipt tipo "C" se requeriría correr la simulación 8,802 veces, lo cual por temas de tiempos y recursos informáticos no se realizará; sin embargo, la cantidad de réplicas elegida es de 1,068 veces, la cual nos permite un ancho de intervalo de aproximadamente 5% del valor del promedio para el warehouse receipt tipo "L", el cual es el quinto (5to) menos frecuente. Al simular 1,100 veces el proceso obtuvimos tiempos promedios en sistema.

Tabla 3.5.4 Tiempos en sistema promedios por tipo de WHR al 95% de confiabilidad

Nº	WHR	Cantidad de Bultos	Cantidad de Kilos	Recurso	Ocurrencia (%) 2006	Tiempo en sistema al 95% (min.)		
						Límite Inf.	\bar{x}	Límite Sup.
1	A	[1 ; 5]	[0 ; 50]	Persona	22.7%	29	31	32
2	B	[1 ; 5]	[50 ; 400]	Estoca	17.4%	34	35	36
3	J	[15 ; 50]	[150 ; 400]	Persona	10.4%	46	47	49
4	E	[5 ; 15]	[5 ; 150]	Persona	9.5%	35	37	38
5	O	[50 ; 150]	[400 ; 2,500]	Persona	8.5%	81	83	85
6	F	[5 ; 15]	[150 ; 400]	Estoca	8.5%	118	119	121
7	K	[15 ; 50]	[400 ; 1,000]	Persona	7.1%	48	49	51
8	G	[5 ; 15]	[400 ; 1,000]	Estoca	3.5%	122	125	127
9	R	[150 ; 300]	[400 ; 2,500]	Persona	3.1%	101	108	115
10	L	[15 ; 50]	[1,000 ; 2,500]	Estoca	2.2%	72	76	81
11	S	[150 ; 300]	[2,500 ; 50,000]	Estoca	1.0%	170	176	183
12	V	[300 ; 500]	[2,500 ; 50,000]	Estoca	0.7%	256	267	278
13	C	[1 ; 5]	[400 ; 1,000]	Estoca	1.5%	No se tienen promedios confiables al 95% para el 5.3% del total de cargas que llegan al Terminal de Exportación.		
14	N	[50 ; 150]	[50 ; 400]	Persona	0.9%			
15	D	[1 ; 5]	[1,000 ; 50,000]	Montacarga	0.6%			
16	X	[500 ; 1,000]	[2,500 ; 100,000]	Estoca	0.5%			
17	P	[50 ; 150]	[2,500 ; 50,000]	Montacarga	0.5%			
18	U	[300 ; 500]	[1,000 ; 2,500]	Persona	0.4%			
19	H	[5 ; 15]	[1,000 ; 2,500]	Estoca	0.3%			
20	Y	[1,000 ; 5,000]	[1,000 ; 100,000]	Persona	0.2%			
21	M	[15 ; 50]	[2,500 ; 50,000]	Montacarga	0.2%			
22	I	[5 ; 15]	[2,500 ; 50,000]	Montacarga	0.1%			
23	W	[500 ; 1,000]	[1,000 ; 2,500]	Persona	0.1%			
24	T	[300 ; 500]	[400 ; 1,000]	Persona	0.0%			
25	Q	[150 ; 300]	[150 ; 400]	Persona	0.0%			

Fuente: Elaboración Propia

Con estos valores el administrador del servicio puede afirmar que para un determinado cliente existe un intervalo, con un 95% de confianza, en el que se encuentra el tiempo que pasará en el sistema.

El reporte de la simulación que emite automáticamente el software ARENA nos permite observar los consumos promedios, mínimos y máximos de los recursos en términos de porcentaje de utilización.

Tabla 3.5.5 Utilización de los recursos del sistema

Recurso	Cantidad	% Utilización al 95% de confianza			Ancho Intervalo
		Límite Inf.	\bar{x}	Límite Sup.	
AGENTE DE SEGURIDAD	2	91%	91%	91%	0.37%
PERSONAL EXTERNO	8	48%	48%	49%	0.40%
OPERARIO	8	28%	29%	29%	0.30%
DIGITADOR	3	23%	24%	24%	0.08%
RECEPCIONISTA	2	22%	22%	22%	0.06%
INSPECTOR DE RAYOS X	4	19%	19%	19%	0.16%
BALANCERO	4	6%	6%	6%	0.03%
BINOMIO CANINO	2	5%	5%	5%	0.03%
SUPERVISOR	1	1%	1%	1%	0.00%
MONTACARGA	1	0%	1%	1%	0.04%

Fuente: Elaboración Propia

El recurso más utilizado entre las once (11) y veintidós (22) horas es el agente de seguridad que con 91% de uso. Debido a ello, se espera que en las operaciones a las que sirven se encuentren con warehouse receipt en cola.

El resumen de las 1,100 réplicas (Véase anexo N° 22) se observan la cantidad de entidades que ingresaron y salieron. Dando como resultado un total de veintisiete (27) warehouse receipt en cola al llegar las 22 horas del día como se observa en el Anexo N° 23.

Los tiempos de servicio pueden clasificarse en aquellos que generan valor agregado y en aquellos que no generan valor agregado. Estos tiempos son identificados en la simulación y mediante la siguiente fórmula obtenemos el porcentaje (%) de valor por operación y por warehouse receipt:

$$\% \text{ Valor agregado del proceso para el WHR}_i = \frac{\text{Tiempo de V/A (min) del WHR}_i}{\text{Tiempo en sistema (min) del WHR}_i} \times 100$$

Donde “i” puede ser cualquiera de los doce (12) tipos de warehouse receipt para los que se obtuvo tiempos en sistema con 95% de confiabilidad.

Debido a que los warehouse receipt tienen diferentes tasas de llegada y por consiguiente diferentes frecuencias, se ponderan por la participación encontrada durante el año 2006 a fin de obtener un promedio que estime el valor agregado del proceso. La Tabla 3.5.9 muestra dicha estimación.

Tabla 3.5.6 Estimación del porcentaje (%) de Valor agregado del proceso de recepción e inspección de carga

N°	WHR	Tiempo de V/A (min)	Tiempo Total (min)	%_V/A	%_Particip. 2006	%_V/A Ponderado
1	A	3	31	10%	23%	2%
2	B	4	35	11%	17%	2%
3	E	5	37	14%	10%	1%
4	F	5	119	5%	9%	0%
5	G	9	125	8%	3%	0%
6	J	13	47	28%	10%	3%
7	K	14	49	28%	7%	2%
8	L	25	76	32%	2%	1%
9	O	36	83	44%	9%	4%
10	R	74	108	68%	3%	2%
11	S	29	176	16%	1%	0%
12	V	47	267	18%	1%	0%

Valor agregado del proceso = Suma de %_V/A Ponderados = 18%

Fuente: Elaboración Propia

Al sumar los porcentajes (%) de Valor agregado ponderados para cada warehouse receipt se estima que el proceso de recepción e inspección de carga tiene 18% de Valor agregado.

Uno de los objetivos de la aplicación de la metodología Lean Six sigma es aumentar el valor agregado en los servicios, por lo que la sección de validación de las propuestas de mejora del presente documento deberá mostrar que, utilizando dicha metodología, el valor agregado del proceso aumenta.

4 Propuestas de mejora

4.1 Objetivos de las propuestas de mejora

Los objetivos de las propuestas de esta sección están relacionados con la medición y análisis de la calidad y velocidad del proceso de recepción e inspección de carga, de acuerdo a ello se fijan tres (3) objetivos de mejora:

1. Calidad:

El rendimiento de los parámetros de calidad del proceso era de 3.04 niveles sigma, el objetivo es obtener un rendimiento de alrededor de 4 niveles sigma después de eliminar las fuentes de error de los modos de falla del proceso.

2. Velocidad:

Por medio de la simulación de 1,100 réplicas del proceso se determinaron los tiempos promedios de los tiempos en sistema de doce (12) warehouse receipt. El objetivo es obtener una reducción promedio mayor a 15% en dichos tiempos.

3. Valor agregado:

Como resultado de mejorar el rendimiento de los parámetros de calidad y de reducir los tiempos en sistema, el porcentaje (%) de valor agregado del proceso deberá encontrarse entre 20% y 30%.

Estos objetivos serán validados en la sección 5.

4.2 Mapa de flujo de valor

Con los resultados de la simulación de 1,100 réplicas se forma un flujo de valor del servicio en sus etapas principales; de esa forma se muestran los tiempos en cola que experimentan los agentes de carga por etapa de proceso, así como el número de agentes de carga que quedan en cola por etapa.

Podemos apreciar en la ilustración 3.5.2 que de los veintisiete (27) warehouse receipt que se quedan en cola, veintidós (22) se quedan en la etapa de Inspección manual. También se puede observar que el 18% del total del tiempo en el servicio es valor agregado, y que existen etapas y operaciones que no generan ningún valor agregado al servicio.

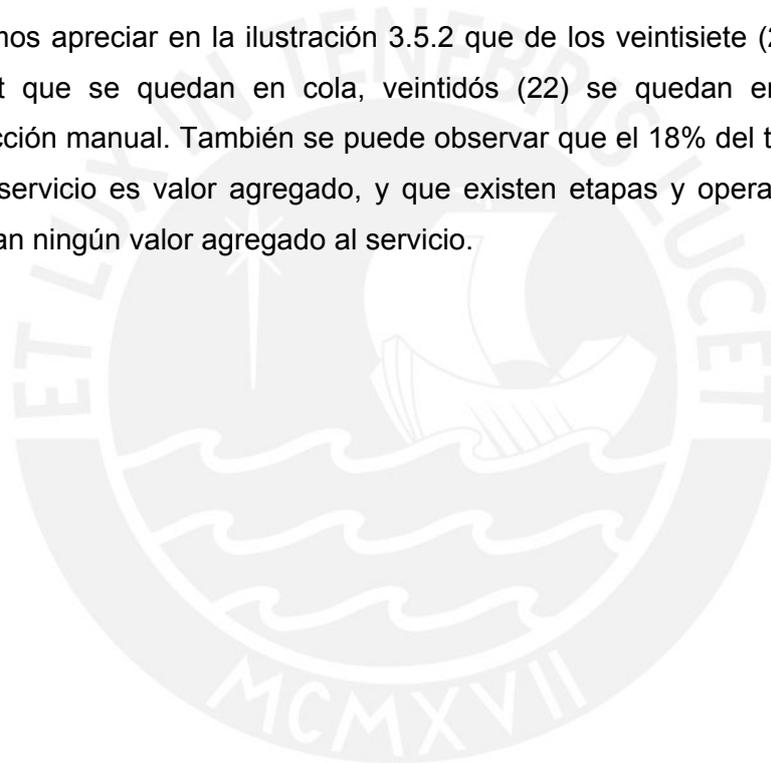
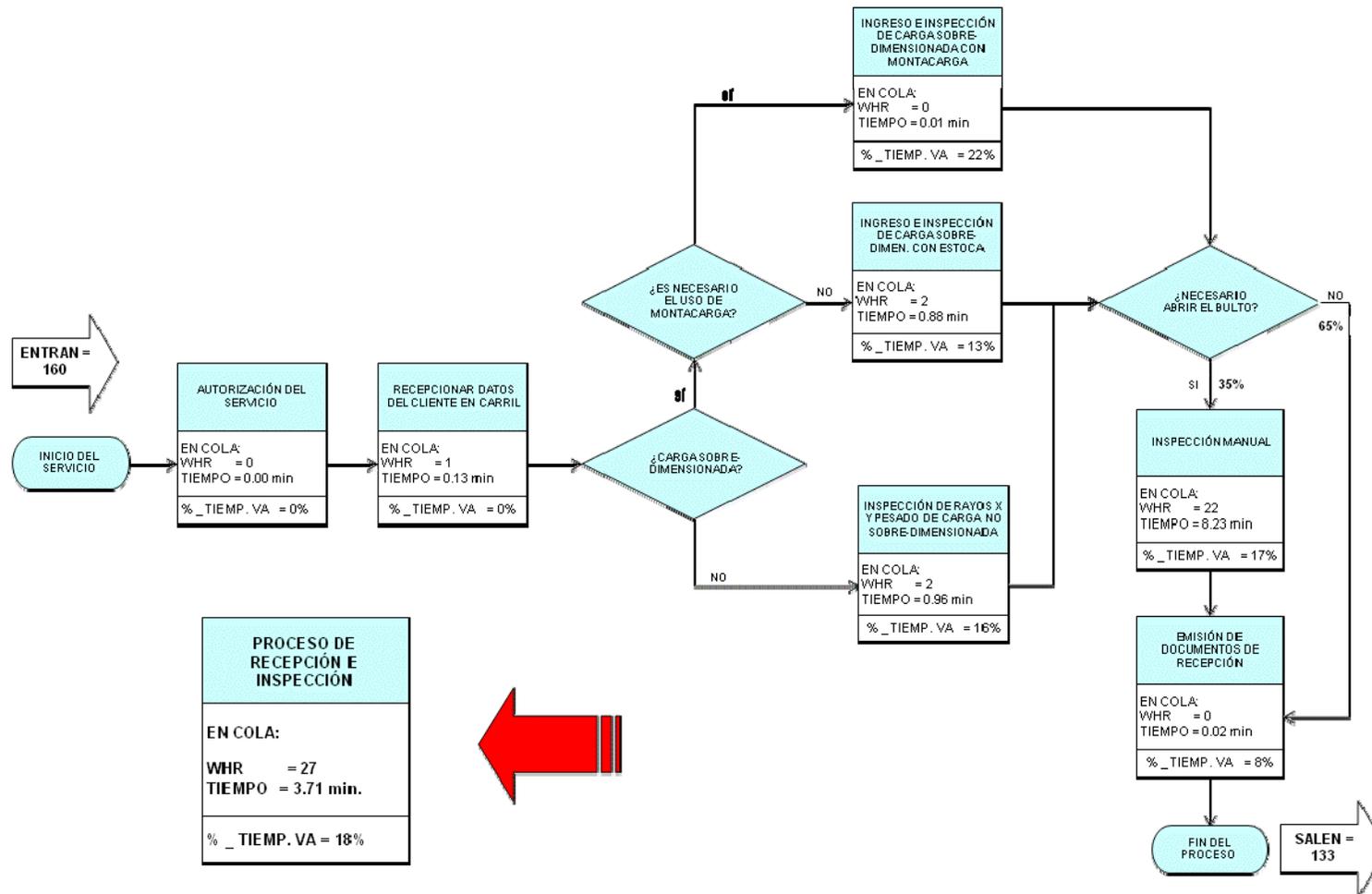


Ilustración 4.2.1 Flujo de valor del proceso de recepción e inspección de carga



Fuente: Elaboración Propia

4.3 Planteamiento de las propuestas de mejora

Para alcanzar los objetivos de mejora se plantean las cuatro (4) propuestas que se describen a continuación.

4.3.1 Propuesta de mejora para el modo de falla “Datos de pre-guía mal ingresados al sistema de exportación”

A. Problema a atacar:

En la sección 3.2.1 al medir el nivel sigma del proceso y de cada parámetro crítico para la calidad; se obtuvo que por cada millón de warehouse receipt emitidos 235 muestran problemas de datos mal ingresados. Ello naturalmente ocasiona re-procesos y un gasto de 35 nuevos soles por la compra de un formulario CCA (Cargo Charge Corrections Advice) por cada warehouse receipt mal llenado.

B. Descripción de la propuesta de mejora:

Crear una interface que le permita a la base de datos de la empresa prestadora del servicio aeroportuario interactúe con la base de datos de la línea aérea al momento que se graban los datos de la carga a exportar, y de su agente de carga y/o exportador cuando esta elabora la pre-guía. De esa forma, no existiría la necesidad de digitar y el proceso no estaría afecto a factores de medio ambiente.

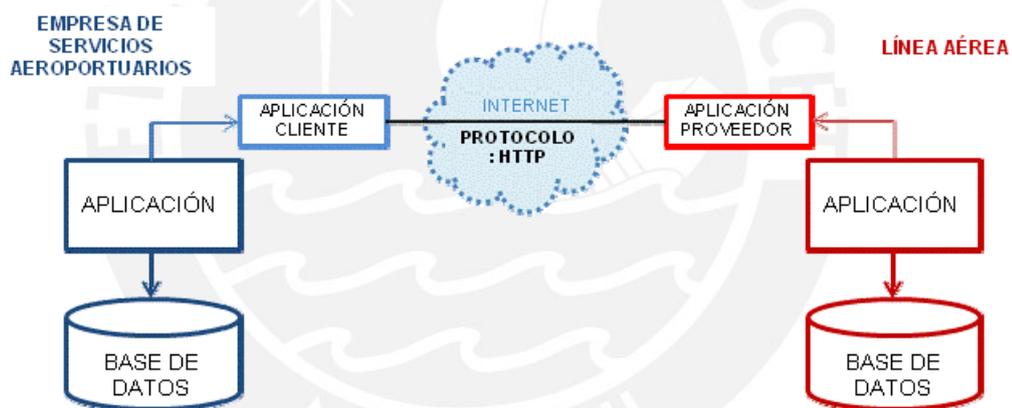
C. Objetivo(s):

1. Eliminar el modo de falla denominado “Datos de pre-guía mal ingresados al sistema de exportación” (Véase Tabla 3.4.3), mediante la sustitución de las actividades de digitación por la descarga automática de la información de los datos de la carga a exportar y su agente de carga y/o exportador.
2. Reducir el tiempo de ciclo y el tiempo en sistema en los 1.20 minutos que es lo que dura en promedio la etapa de “Recepción de datos del cliente en carril” que está conformada por las actividades de digitación de datos, las cuales generan el modo de falla.
3. Reducir la complejidad del proceso de recepción de carga eliminando la etapa de “Recepción de datos del cliente en carril” que no genera ningún valor agregado al servicio.

D. Requerimiento(s) de implementación:

1. Adquirir dos (2) computadores más para que de esa forma, los cuatro (4) carriles puedan descargar los datos de cualquier pre-guía, y generen una warehouse receipt de forma independiente.
2. La autorización de la(s) línea aérea(s) para el diseño y desarrollo de un puente informático mediante servicios web sobre protocolos HTTP (servicios web). El objetivo es crear componentes (software) que añadan una funcionalidad a los sistemas de cada empresa para comunicarse entre ellos. Esto no genera impacto a los sistemas; sin embargo, implementar las aplicaciones que interactúen con las bases de datos de cada empresa y desarrollar la interface va a depender de las plataformas de cada sistema.

Ilustración 4.3.1.1 Esquema de intercambio de datos mediante servicios web



Fuente: Elaboración Propia

4.3.2 Propuesta de mejora para el modo de falla “Warehouse receipt emitido con peso incorrecto”

A. Problema a atacar:

Al medir el nivel sigma del proceso, se obtuvo que por cada millón de warehouse receipt emitidos 471 presentan problemas de mal pesado. Sea por ingresar menos o más kilos del real, la empresa de servicios aeroportuarios asume el costo de la pérdida de la línea aérea por dejar de cobrar peso, en caso se hayan ingresados menos kilos del real, o en su defecto asume el sobrecosto pagado por el agente de carga y/o exportador por el sobrepeso pagado a la línea aérea.

Para casos en los que el peso emitido sea excesivamente menor al real, podría ocasionarse un accidente trágico que ocasionaría el fin del negocio.

Actualmente el balancero pesa manualmente la(s) carga(s) mientras el digitador ingresa al sistema de exportación los datos de la carga y de su agente de carga y/o exportador.

B. Descripción de la propuesta de mejora:

Reemplazar el proceso de pesado manual por una captura automática, en el que el balancero capture el peso de la balanza por medio de un software en su computador. De esa forma, el balancero puede capturar el peso de varias cargas y totalizar su peso para luego grabar la información en la warehouse receipt en proceso.

Este nuevo proceso de pesado la digitación de datos no se realiza, y en su reemplazo se descarga la información de la carga y de su agente de carga y/o exportador cuando se graba al momento de realizar la pre-guía, como se menciona en la propuesta anterior.

C. Objetivo(s):

1. Eliminar el modo de falla denominado “Warehouse receipt con peso incorrecto” (Véase Tabla 3.4.3), mediante la sustitución del pesado manual por un pesado automático.
2. Reducir el tiempo de ciclo y el tiempo en sistema en los 1.20 minutos que es lo que dura en promedio la etapa de “Recepción de datos del cliente en carril” que está conformada por las actividades de digitación de datos, las cuales generan el modo de falla.

D. Requerimiento(s) de implementación:

1. Implementar la propuesta anterior que consta en crear un enlace entre las bases de datos de la empresa prestadora del servicio aeroportuario y la línea aérea mediante servicios web, con la finalidad de reemplazar la digitación de datos por el descargue automático de los datos de la pre-guía.

2. Adquirir dos (2) computadores como también lo sugiere la propuesta anterior para que en los cuatro carriles, se pueda realizar el pesado automático.
3. Adquirir un servicio de automatización que mediante la instalación de un sensor y un driver que se conecte se con el sistema operativo de los computadores. El servicio debería instalar también un aplicativo que converse con el driver para hacer efectiva la captura la información del sensor y su registra en el warehouse en proceso.

4.3.3 Propuesta de mejora para el modo de falla “Warehouse receipt emitido a agentes de carga no acreditados”

A. Problema a atacar:

Al medir el nivel sigma del proceso, se obtuvo que por cada millón de warehouse receipt emitidos, 314 presentan problemas por haberse elaborado para agentes de carga no acreditados. Estos agentes de carga obtienen su pre-guía debido a que en muchos casos tienen su acreditación en trámite, y por política comercial de la mayoría de líneas aéreas, ello es suficiente para hacer venderles el servicio de transporte.

La multa que la DGAC dictaminó en el 2007 fue de 15 UIT's por atención a un agente no acreditado.

B. Descripción de la propuesta de mejora:

La jefatura de seguridad debe mantener una base de datos actualizada de los agentes de carga acreditados que permita bloquear el registro de datos sobre una determinada warehouse receipt en proceso.

Esta data también debe tenerla el Recepcionista al momento de autorizar el servicio.

C. Objetivo(s):

1. Eliminar el modo de falla denominado “Warehouse receipt emitidos a agentes de carga no acreditados” (Véase Tabla 3.4.3), mediante el bloqueo de grabación de datos para aquellos agentes de carga no acreditados mientras se elabora el warehouse receipt.

D. Requerimiento(s) de implementación:

1. Crear una base de datos con los agentes de carga acreditados para cada línea aérea e implementar una validación de datos en el sistema de exportación.

4.3.4 Propuesta de mejora para el modo de falla “Cargas recepcionadas con etiquetas con información incorrecta”

A. Problema a atacar:

Al medir el nivel sigma del proceso, se obtuvo que por cada millón de warehouse receipt emitidos, 157 se refieren a cargas con etiquetas con información incorrecta porque los agentes de carga se equivocaron en escribir a mano dichas etiquetas.

La multa que ADUANAS dictamina asciende a US\$ 5,000 por dichas equivocaciones.

B. Descripción de la propuesta de mejora:

Dialogar con los agentes de carga para que propongan a aquellas líneas aéreas que emiten etiquetas en blanco, que impriman los datos de sus cargas en sus etiquetas, y de esa forma sus clientes se sientan más satisfechos.

C. Objetivo(s):

1. Eliminar el modo de falla denominado “Cargas recepcionadas con etiquetas con información incorrecta” (Véase Tabla 3.4.3).

D. Requerimiento(s) de implementación:

1. Negociaciones con los agentes de carga y la línea aérea.

4.3.5 Propuesta de mejora para el modo de falla “Cargas recepcionadas con etiquetas con información incorrecta”

A. Problema a atacar:

En la sección 3.2.1 se determinó que aproximadamente el 47.3% de los tiempos de servicio durante el 2006 son mayores a los 40 minutos, que es el promedio de tiempo en sistema que se tenía como deseable para el servicio, ocasionando quejas y reclamos de los agentes de carga.

Como se ha determinado, a lo largo de este documento, los warehouse receipt no son iguales, pudiendo ser clasificados y diferenciados en veinticinco (25) tipos por la cantidad de bultos y kilos a los que hacen referencia. Un agente de carga puede aproximarse al Terminal aeroportuario para tramitar cualquiera de estos veinticinco (25) tipos de warehouse receipt. Sin embargo, este usuario del servicio casi siempre tiene una agenda aduanera muy ocupada y saber programar su tiempo le resulta necesario.

Las quejas y la insatisfacción están directamente relacionadas con el desconocimiento de los tiempos de servicio. Adicionalmente a ello, las actividades del proceso de recepción e inspección de carga están cargadas de actividades que no generan valor agregado como las “pasadas de mano”, “las esperas a los agentes de carga” y la “digitación de datos” (Véase Anexo N° 24). Ambas cosas le restan capacidad y competitividad al proceso y le imposibilitan atender más líneas aéreas.

B. Descripción de la propuesta de mejora:

Aplicar las cuatro (4) propuestas de mejora previamente planteadas que quitan complejidad en la ejecución del proceso de recepción e inspección de carga, y a su vez, disminuyen el tiempo en sistema.

Reemplazar el llenado manual de la hoja de seguridad por la grabación de datos que aportarían los agentes de seguridad a la formación de la warehouse receipt en el sistema de exportación. Actualmente esa labor de llenado al sistema lo realiza el digitador.

Comunicar los tiempos de atención promedio, determinados al simular 1,100 veces el proceso para una determinada carga al momento que la línea aérea emita la pre-guía, de tal forma que el cliente venga al servicio ya advertido del tiempo que él y su carga permanecerán en el Terminal antes de tramitar la DUA.

Contratar un tercer agente de seguridad adicional, debido a que el uso de ese recurso después de simular 1,100 veces el proceso fue del 91% (Véase Tabla 3.5.7). El efecto de ello se refleja en la ilustración 4.2.1 donde se muestra que, en la etapa de “Inspección manual”, existe en promedio veintidós (22) agentes de carga en cola esperando ser atendidos, prolongando el tiempo en sistema.

C. Objetivo(s):

1. Disminución de por lo menos 15% en los tiempos promedio en sistema y de los agentes de carga en cola.
2. El porcentaje (%) del tiempo de valor agregado deberá ser entre 20% y 30%.

D. Requerimiento(s) de implementación:

1. Acuerdos con las líneas aéreas para que los tiempos de emisión de warehouse receipt sean comunicados al cliente (agente de carga) al momento de emitir al pre-guía.
2. Contratar un personal de seguridad adicional para la inspección manual.
3. Eliminar el puesto del digitador y dar la tarea de la digitación de datos de la inspección de seguridad a los mismos inspectores.

A continuación, el efecto de las propuestas de mejora se validará al simular su aplicación al modelo del proceso de recepción e inspección de carga, desarrollado en la sección anterior utilizando el programa computacional ARENA, con la finalidad de simular el efecto de las mejoras planteadas en la presente sección.

5 Validación de las propuestas de mejora

Para validar las propuestas de mejora se debe comparar los resultados con los objetivos planteados. Por lo tanto, cada uno de los tres (3) objetivos planteados al iniciar la sección 4, será probado en la presente sección.

5.1 Validación del cumplimiento del objetivo de calidad

Para los cuatro (4) parámetros de calidad se midió un rendimiento de 3.04 niveles sigma, lo que significa 1,177 defectos por millón de unidades producidas (DPM); sin embargo, al aplicar las propuestas de mejora y las tecnologías de información que proponen, se pueden eliminar por completo los siguientes tres (3) modos de falla:

1. Datos de pre-guía mal ingresados a sistema de exportación que genera 225 defectos por millón de unidades producidas.
2. Warehouse receipt emitidos a agentes de carga no acreditados que genera 314 defectos por millón de unidades producidas.
3. Warehouse receipt emitidos con peso incorrecto que genera 471 defectos por millón de unidades producidas.

Estos modos de falla, arriba mencionados pueden ser eliminados en su totalidad debido a que no representa mayor costo a la línea aérea. Sin embargo, el modo de falla “Carga recepcionada con etiquetas con información incorrecta” está relacionado con un costo adicional que asumiría el cliente de la empresa de servicios aeroportuarios por imprimir las etiquetas; por lo tanto, su paso será lento y probablemente no se dé en todas las líneas aéreas.

Dicho lo anterior, el proceso quedaría con 157 defectos por millón de unidades producidas, lo que equivale a 3.60 niveles sigma.

Tabla 5.1.1 Nivel de calidad del proceso de recepción e inspección de carga mejorado.

Indicadores	2006	Mejorado
Nivel Sigma	3.04	3.60
Defectos por millón	1,177	157

Fuente: Elaboración Propia

Los defectos por millón de unidades producidas, o lo que sería en términos del proceso, warehouse receipt defectuosos por millón de warehouse receipt emitidos, disminuiría en aproximadamente en 87% con respecto al 2006.

5.2 Validación del cumplimiento del objetivo de velocidad

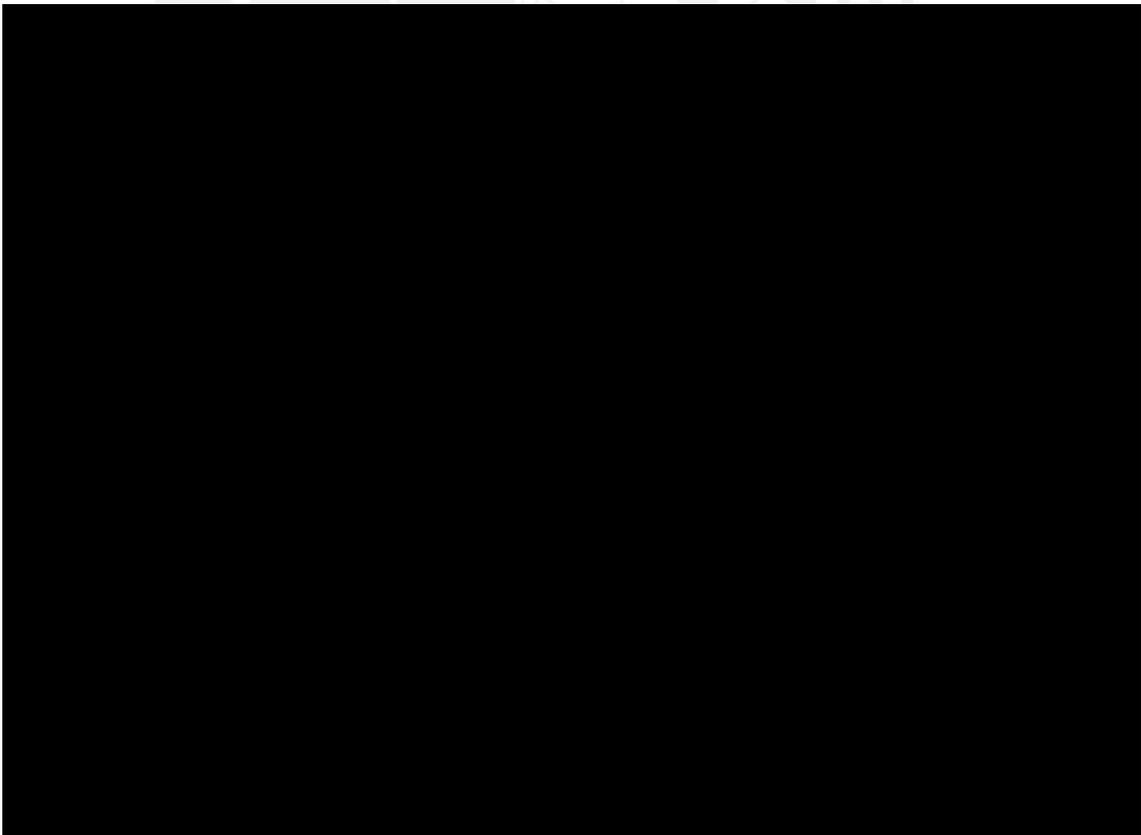
Al seguir las propuestas de mejora de la sección anterior se eliminaron las operaciones que no generan valor agregado reemplazándolas por las tecnologías de información. Ello modificó el modelo del proceso desarrollado en el programa computacional (Véase Anexo N° 25).

Con 30 réplicas o corridas de la simulación se obtuvo valores promedio, mínimos y máximos de los tiempos en el sistema (Véase anexo N° 26). El ancho de los intervalos de confianza se obtuvo de la misma forma que en la sección 3.5 al realizar la simulación del sistema actual.

Con 1,100 réplicas aseguramos para once (11) de los quince (15) tipos de warehouse receipt, promedios con 95% de confiabilidad. (Véase Anexo N° 27)

De esa forma se obtuvieron los tiempos promedios del proceso mejorado como se muestra a continuación.

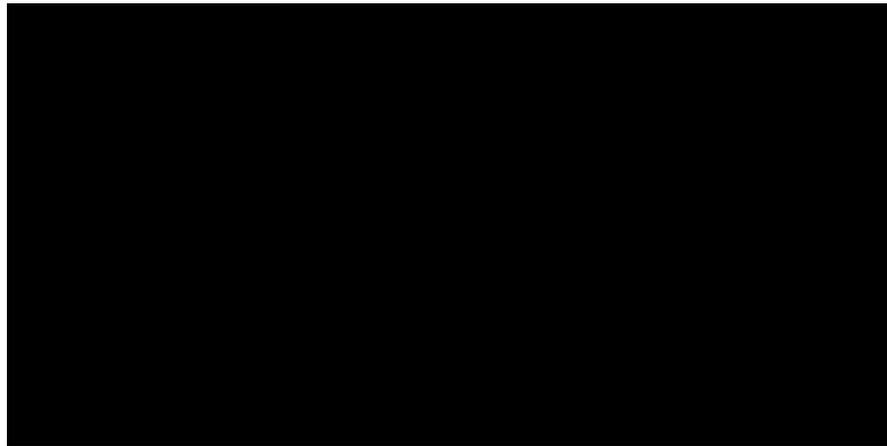
Tabla 5.2.2 Tiempos en sistema promedios por tipo de warehouse receipt al 95% de confiabilidad para el proceso mejorado



Fuente: Elaboración Propia

El consumo (%) de los recursos también resulta inferior para la mejora.

Tabla 5.2.3 Utilización de los recursos del sistema mejorado



Fuente: Elaboración Propia

El proceso mejorado considera un (1) agente de seguridad adicional, por lo que el consumo porcentual de dicho recurso pasa de 91% a 80%; sin embargo, también se puede observar que en vez de tener tres (3) digitadores, se trabaja sólo con uno, el cual es usado casi la misma cantidad de tiempo.

Al comparar los tiempos en sistema encontrados por la simulación de 1,100 réplicas para cada modelo, se obtuvo una disminución en la mayoría de los tipos de warehouse receipt. El promedio geométrico de las variaciones porcentuales en los tiempos es de aproximadamente 16%; por lo tanto se puede decir que el proceso de recepción e inspección de carga se vuelve 16% más rápido al aplicarse las mejoras planteadas en la sección 4.

Tabla 5.2.4 Variación de los tiempos en sistema

N°	WHR	Cantidad de Bultos	Cantidad de Kilos	Tiempos de atención		%_Disminución
				Mejorado	2006	
1	A	[1 ; 5]	[0 ; 50]	21	31	32%
2	B	[1 ; 5]	[50 ; 400]	25	35	29%
3	J	[15 ; 50]	[150 ; 400]	42	47	11%
4	E	[5 ; 15]	[5 ; 150]	27	37	26%
5	O	[50 ; 150]	[400 ; 2,500]	91	83	-9%
6	F	[5 ; 15]	[150 ; 400]	111	119	7%
7	K	[15 ; 50]	[400 ; 1,000]	43	49	13%
8	G	[5 ; 15]	[400 ; 1,000]	114	125	8%
9	R	[150 ; 300]	[400 ; 2,500]	134	108	-24%
10	L	[15 ; 50]	[1,000 ; 2,500]	64	76	16%
11	S	[150 ; 300]	[2,500 ; 50,000]	226	176	-28%
12	V	[300 ; 500]	[2,500 ; 50,000]	272	267	-2%

%_Disminución promedio del tiempo de atención = 15.6%

Fuente: Elaboración Propia

Al comparar la cantidad de ingresos al proceso con sus salidas, se observa que al terminar el periodo de simulación se tienen catorce (14) agentes de carga haciendo cola en el sistema. Esto es aproximadamente 50% menor a los veintisiete (27) agentes de carga que se quedaban después de las 22:00 horas con el modelo actual.

Tabla 5.2.5 Ingresos versus salidas de agentes de carga por tipo de warehouse receipt para el proceso mejorado

Nº	WHR	In = Ingresados	Out = Salidos	In - Out = Trabajo en proceso	(Out / In) x 100 (%)
1	A	37	34	3	93%
2	B	25	23	2	93%
3	J	18	17	1	93%
4	E	18	16	1	92%
5	O	16	14	3	83%
6	K	15	14	1	93%
7	F	15	14	1	90%
8	R	5	4	1	80%
9	G	4	4	0	100%
10	L	2	2	0	100%
11	C	1	1	0	100%
12	D	1	1	0	100%
13	N	1	1	0	100%
14	S	1	1	0	100%
15	V	1	1	0	100%
Total		160	147	14	92%

Fuente: Elaboración Propia

5.3 Validación del cumplimiento del objetivo de valor agregado

Reemplazar las actividades que no generan valor agregado no sólo disminuye el tiempo de servicio, sino también aumentan el tiempo de valor agregado que experimenta el agente de carga durante el proceso de recepción e inspección de carga.

Para calcular el porcentaje (%) de valor agregado de cada warehouse receipt utilizamos la misma ecuación que en la sección 3.5:

$$\% \text{ Valor agregado del proceso para el WHR}_i = \frac{\text{Tiempo de V/A (min) del WHR}_i}{\text{Tiempo en sistema (min) del WHR}_i} \times 100$$

Donde “i” puede ser cualquiera de los once (11) tipos de warehouse receipt para los que se obtuvo tiempos en sistema con 95% de confiabilidad.

Al ponderar los % de valor agregado (V/A) según la participación de cada tipo de warehouse receipt durante el 2006 y sumarlos, se obtiene el porcentaje (%) de valor agregado teórico para el proceso mejorado. Dicho valor asciende a 24% del tiempo en sistema.

Tabla 5.3.1 Estimación del porcentaje (%) de Valor agregado del proceso de recepción e inspección de carga para el proceso mejorado

N°	WHR	Tiempo de V/A	Tiempo Total	%_V/A	%_Particip. 2006	%_V/A Ponderado
1	A	4	21	17%	23%	4%
2	B	4	25	16%	17%	3%
3	E	6	27	24%	10%	2%
4	F	7	111	6%	9%	1%
5	G	11	114	10%	3%	0%
6	J	15	42	35%	10%	4%
7	K	17	43	39%	7%	3%
8	L	27	64	42%	2%	1%
9	O	49	91	54%	9%	5%
10	R	74	134	55%	3%	2%
11	S	47	226	21%	1%	0%
12	V	47	272	17%	1%	0%

Valor agregado del proceso mejorado= 24%

Fuente: Elaboración Propia

El valor agregado pasó de 18% a 24% del tiempo de atención.

6 Evaluación económica

Para cumplir con los objetivos de calidad y velocidad de las propuestas de mejora como se presenta en la sección anterior, se deben realizar una serie de inversiones en tecnologías de información y gastos en servicios de seguridad.

El objetivo de esta sección es demostrar que la implementación de las propuestas de mejora, permitirá una serie de ingresos que harán desde el punto de vista económico-financiero, viable a los ojos del dueño del negocio.

Se estima que la implementación de las propuestas de mejora tomaría nueve (9) semanas como se muestra en el Cronograma de implementación, siendo lo más compleja, la implementación de un puente informático mediante servicios web entre el sistema de la empresa prestadora de servicio y la línea aérea.

Tabla 6.1 Cronograma de implementación de las propuestas de mejora

N°	Propuesta de mejora	N°	Actividades de implemetación	Semanas								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Descarga automática de los datos de la pre-guía al momento elaborar la warehouse receipt.	1	Diseño y desarrollo de un puente informático mediante servicios web sobre protocolos HTTP.	A1								
		2	Compra e instalación de dos (2) computadores con sistemas operativos.									A2
2	Reemplazar el proceso de pesado manual por una captura automática.	3	Instalación de un sensor y un driver que se conecte la balanza con el sistema operativo de los computadores.									A3
3	Bloqueo del registro de datos de un agente de carga no acreditado sobre una determinada warehouse receipt.	4	Crear una base de datos con los agentes de carga acreditados e implementar una validación de datos en el sistema de exportación.					A4				
4	Reducir el tiempo de Recepción e Inspección de carga en 16%.	5	Licencias de MINITAB y ARENA (Rockwell Software)	A5								
		6	Reemplazar a dos (2) digitadores por un (1) agente de seguridad entre las 11 y 23 horas de lunes a viernes.									A6

Fuente: Elaboración Propia

Con la finalidad de determinar el costo de la implementación de las propuestas de mejora se elabora el presupuesto de costos del proyecto de mejora, para el cual se asignará un horizonte de tiempo de cinco (5) años.

Los costos de las actividades de implementación de las propuestas de mejora han sido estimados de modo que se acerquen lo más posible a la realidad.

Tabla 6.2 Presupuesto de costos de la implementación de las propuestas de mejora

N°	Propuesta de mejora	Requerimientos	Costo	Periodo	Tiempo estimado de implementación
1	Descarga automática de los datos de la pre-guía al momento elaborar la warehouse receipt.	Dos (2) computadores con sistemas operativos	S/. 3,600	Único	Inmediato
		Diseño y desarrollo de un puente informático mediante servicios web sobre protocolos HTTP.	S/. 90,000	Único	Dos (2) meses
2	Reemplazar el proceso de pesado manual por una captura automática.	Instalación de un sensor y un driver que se conecte la balanza con el sistema operativo de los computadores.	S/. 8,000	Único	Una semana
3	Bloqueo del registro de datos de un agente de carga no acreditado sobre una determinada warehouse receipt.	Crear una base de datos con los agentes de carga acreditados e implementar una validación de datos en el sistema de exportación.	S/. 1,000	Anual	Una semana
4	Reducir el tiempo de Recepción e Inspección de carga en 16%.	Licencias de MINITAB y ARENA (Rockwell Software)	S/. 6,000	Único	Inmediato
		Un (1) agente de seguridad entre las 11 y 23 horas de lunes a viernes.	S/. 2,700	Mensual	Una semana

Fuente: Elaboración Propia

El presupuesto de ingresos se basará en tres formas de ingresos que se obtienen al implementar las propuestas de mejora:

- A. Ahorro en pago de sanciones impuestas por SUNAT-ADUANAS y la DGAC.
- B. Ahorro en base imponible por personal operativo.
- C. Ahorro en gastos administrativos de personal operativo.
- D. Ahorro en pago de sanciones impuestas por SUNAT-ADUANAS y la DGAC

Se espera que la tasa de defectos por millón de unidades producidas, después de implementar la mejora, pase de 1,177 a 157 defectos por millón de partes por la eliminación de los siguientes modos de falla:

1. Datos de la pre-guía mal ingresados al sistema de exportación: El costo de este modo de falla es de S/. 35.00 por la compra de un formato CCA para la corrección en los datos. La frecuencia de este modo de falla fue en el 2006, de tres (3) veces al año.

2. Warehouse receipt emitidos a agentes de carga no acreditados: El costo de dicho error varía entre las 10 y 15 UIT (entre S/. 35,000 y S/. 52,500). Su ocurrencia es de tres (3) veces al año; sin embargo, para la evaluación de la implementación de las propuestas de mejora, se considerará una vez al año y por un monto equivalente a 10 UIT o S/. 35,000.00. De modo que dicha evaluación se vuelve más exigente la calcular el valor presente neto (VAN) del proyecto.
3. Warehouse receipt emitido con peso incorrecto: No se tiene datos exactos pero se asumirá un costo de S/. 5,000 anuales.

A. Ahorro en base imponible por personal operativo

Implementar las propuestas de mejora reemplaza las funciones de los digitadores del proceso de recepción e inspección de carga por tecnologías de información que a mediante servicios web pueden descargar la información desde la base de datos de la línea aérea.

Debido a que la percepción de cada trabajador es de S/. 800.00 mensuales. El ahorro en la base imponible es de la siguiente manera:

Tabla 6.3 Cálculo de la base imponible anual por tres digitadores

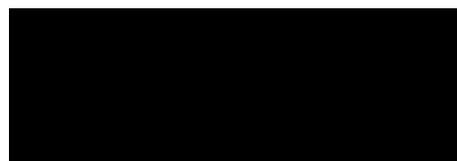
Sueldo de tres (3) digitadores	S/.	28,800.00
Gratificaciones	S/.	4,800.00
Base imponible	S/.	33,600.00

Fuente: Elaboración Propia

B. Ahorro en gastos administrativos de personal operativo

El gasto administrativo del personal operativo se calcula sobre la base imponible y se compone de costos adicionales y obligatorios para la empresa de servicios: CTS (8.33%), ESSALUD (9%) y SENATI (0.75%).

Tabla 6.4 Cálculo del gasto administrativo anual



Fuente: Elaboración Propia

Presupuestados los ingresos de las propuestas de mejora por ahorros anuales, se procederá evaluar la viabilidad económica del flujo de caja que los egresos e ingresos de dinero modelan. Para ello se debe determinar un tasa de descuento con la cual comparar la rentabilidad del proyecto de mejora.

Actualmente no se tiene data de la rentabilidad del negocio, de la industria o del sector de servicios aeroportuarios; tampoco de un nivel de riesgo sistémico para estimar una rentabilidad del sector; por lo tanto, utilizaremos la tasa de interés activa de mercado que proporciona la Superintendencia de Banca, Seguros y AFP (SBS)

Tabla 6.5 Tasa de interés activa promedio de mercado efectiva

TASA DE INTERÉS ACTIVA PROMEDIO DE MERCADO EFECTIVA AL 07/07/2008				
Moneda Nacional(TAMN)	23.71%	Anual	Factor Diario	0.00059
			* Factor Acumulado ¹	749.27353
Moneda Nacional(TAMN + 1)	24.71%	Anual	Factor Diario	0.00061
			* Factor Acumulado ¹	1,274.12567
Moneda Nacional(TAMN + 2)	25.71%	Anual	Factor Diario	0.00064
			* Factor Acumulado ¹	2,156.24742
Moneda Extranjera(TAMEX)	11.15%	Anual	Factor Diario	0.00029
			* Factor Acumulado ¹	9.43089

Fuente: Elaboración Propia

Se utilizará para la evaluación del proyecto la tasa de interés activa promedio de mercado en soles (TAMN).

El flujo de caja a realizar será económico, pues se asumirá que la empresa va a colocar todo el capital para la realización de la mejora; de otra forma se tendría que obtener los gastos financieros para un flujo de caja financiero.

Para la evaluación del proyecto se usará los siguientes indicadores:

- a. VAN: Valor presente Neto
- b. TIR: Tasa Interna de Retorno

Tabla 6.4 Flujo de caja proyectados para el proyecto de mejora del servicio

Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos						
Ingresos por ahorro eliminación de modos de falla		S/. 40,315.00				
Ingresos por ahorro en gastos administrativos de personal		S/. 6,075.00				
Ingresos por ahorro en base imponible		S/. 33,600.00				
Total de Ingresos	S/. -	S/. 79,990.00				
Egresos						
Inversión en servicios web	S/. 90,000.00					
Inversión en pesado automático	S/. 8,000.00					
Compra de Licencias Minitab y ARENA	S/. 6,000.00					
Compra de computadores	S/. 3,600.00					
Servicio de Agente de Seguridad		S/. 32,400.00				
Gasto en mantenimiento de BD		S/. 3,000.00				
Total de Egresos	S/. 107,600.00	S/. 35,400.00				
Flujo de Caja Económico	S/. -107,600.00	S/. 44,590.00				

Tasa de Descuento (COK) = 23.71% Anual

VAN FCE = S/. 15,558.55 Es mayor que cero (0); por lo tanto, el proyecto de mejora es viable.

TIR FCE = 30% Es mayor que la Tasa de Descuento (30%); por lo tanto el proyecto es viable.

Fuente: Elaboración Propia

7 Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

1. El factor tiempo es lo que hace al transporte aéreo el más costo dentro de la distribución física internacional. Ello hace que para los servicios aeroportuarios toda carga sea urgente a los ojos del cliente; por tal motivo el servicio se vuelve eficaz haciendo lo necesario dentro de sus recursos para servir una carga; sin embargo, su eficiencia disminuye conforme el servicio empieza a cargarse de actividades sin valor agregado. Una vez que empieza de perder eficacia, decide aumentar su capacidad operativa para seguirle el paso a las exportaciones que han crecido a razón de 11% anual según COMEX.
2. La metodología lean seis sigma ayuda a observar de forma integral las soluciones que permitan hacer realidad la excelencia operativa que la fusión apunta. La metodología considera que para tener calidad, hace falta la velocidad y para obtener la velocidad tenemos que luchar contra la complejidad que el día a día nos ofrece y se genera cuando sólo se piensa en lo urgente del momento.
3. Los entes reguladores de los procesos y regímenes aduaneros, junto con los reguladores de las operaciones aeronáuticas civiles (DGAC), emiten normas y regulaciones con el fin de proteger a la persona y al comercio exterior de amenazas como el contrabando, el terrorismo y accidentes. Esto de por sí ya hace complicado el desarrollo de los servicios aeroportuarios, si a ello adicionamos las políticas de seguridad de las líneas aéreas, nos encontramos con la necesidad de un servicio aeroportuario ligero y estable. Es por tal motivo que la tendencia es formar centros logísticos donde se concentren todas las operaciones relacionadas con servir las cargas en el cumplimiento de las regulaciones aeronáuticas civiles.
4. Lima Cargo City hará posible en Agosto del 2008 un centro logístico para los tres (3) principales terminales aduaneros que actualmente, trabajan por separado y sirven a más del 90% de la carga que se exporta e importa en el país. Sin embargo, para hacer posible dicho cometido, es necesario prepararse para atender a más de veinte (20) líneas aéreas. Ello significa que durante las once (11) y veintidós (22) horas del día se encontrará una demanda de atención que significará inmediatamente el doble de lo actual.

De ser así, el recurso más crítico será el del agente de seguridad que realiza la inspección manual.

5. De aumentar la carga también aumentarían los errores y modos de falla del actual servicio, es por ello que la adquisición de tecnologías de información se vuelve una necesidad para aumentar la capacidad del servicio al poder conectarse con los sistemas de las líneas aéreas y agilizar las operaciones que encuentran su cuello de botella en el cumplimiento de las políticas de seguridad de la línea aérea cuando realizan inspecciones de seguridad en el Terminal.
6. Las fuentes de error del proceso de recepción e inspección de carga resultan ser las fuentes de demoras y de complejidad; sin embargo, es la ausencia de indicadores del rendimiento del proceso (KPI), lo que impide observar las oportunidades de mejora y comunicar al cliente los aportes al proceso. Es por ello, que la clasificación de las cargas es sumamente importante, de otra forma, no se tendría manera de conseguir promedios de tiempos de servicio al 95% de confianza y establecer metas para reducirlos o mantenerlos; así como para determinar el tiempo de valor agregado que existe en ellos.
7. Trabajar con tecnologías de información resulta útil e imprescindible para aumentar la capacidad del proceso; sin embargo, saber reducir la demanda en las horas pico también resulta útil; es decir, se puede hacer lo posible para reducir el tiempo de ciclo del servicio con la intención de reducir el tiempo de atención, pero de seguir aumentando la demanda en las horas pico, lo más probable es que las mejoras por reducir el tiempo de servicio quede sin efecto al medir el tiempo de atención al cliente; es por ello que deben crearse incentivos para mover la demanda a horas que por lo general existe menos carga y de esa forma encontrar el efecto sobre el lead time del servicio.

7.2 Recomendaciones

1. Detener las operaciones para hacer pruebas de mejora que necesitan ser experimentadas no es posible por el costo que implica ello; por lo tanto, es necesario que estas mejoras vayan experimentándose bajo un diseño de experimentos en forma de evoluciones operativas (EVOP) que permitan que el servicio evolucione con el tiempo y se vayan experimentando los cambios y sus efectos.
2. Es importante determinar aquellos factores cuya estacionalidad determinan los comportamientos de llegada al servicio; estos pueden ser, mes, día y hora. Para determinar un modelo en el que determinados factores conjuguen se debe utilizar la herramienta matemática GLM (Modelo General Lineal). De esa forma el administrador del servicio determinará los factores que afectan la estacionalidad de las tasas de llegadas de determinadas entidades al servicio, y sobre ello, tomar acciones y administrar mejor a los recursos.
3. Modificar la distribución de la llegada de los agentes de carga, incentivando la atención en horas bajas para no aumentar constantemente la cantidad de inspectores de carga. En principio ofertar tiempos de atención más bajos y estables para captar aceptación.
4. Habilitar un espacio para personal de DIRANDRO en las horas pico para que en caso que su intervención sea absolutamente requerida, no se pierdan horas esperando su llegada al Terminal aduanero.
5. El KPI: Tiempo promedio de emisión de warehouse debe ser evaluado para cada tipo de warehouse receipt clasificado, pero además debería de incluirse los factores de rendimiento del estudio de colas.
6. La interfaz de la extranet a implementar debería permitir colocar al agente de carga una hora tentativa de llegada de modo que el sistema inmediatamente le muestre el tiempo esperado de atención al elegir dicha hora de llegada. De esa forma, ni bien realiza el contrato con la línea aérea (pre-guía) se encontraría advertido del tiempo que tomará la emisión de su warehouse receipt. Asimismo, se debe medir el impacto de mostrar dicha información sobre el KPI: Tiempo promedio de emisión de warehouse receipt.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros

Muir, Alastair K. (2006) *Lean Six Sigma Statistics: Calculating Process Efficiencies in Transactional Projects*. E.E.U.U.: McGraw-Hill Companies.

George, Michael L. (2003) *Lean Six Sigma for Services*. E.E.U.U.: McGraw-Hill Companies.

Breyfogle III, Forrest W. (2003). *Implementing Six Sigma*. E.E.U.U.: John Wiley & Sons, Inc. (2da Edición).

Jerry Banks, John S. Carson II, Barry L. Nelson y David M. Nocil (2001). *Discrete-Event System Simulation*. E.E.U.U.: Prentice-Hall International Series. (3era Edición).

Kelton, W. David (1998). *Simulation with Arena*. E.E.U.U. McGraw-Hill Companies.

Besterfield, Dale H. (1994). *Control de Calidad*. México: Prentice-Hall Hispanoamérica. México – Ed. Iberoamericana (4ta edición).

Córdova Zamora, Manuel (2003). *Estadística Descriptiva e Inferencial*. Lima - Perú. Moshera S.R.L. (5ta edición).

Rico, Rubén Roberto. (1993). *Calidad estratégica Total*. Buenos Aires: Ediciones Macchi (9na edición).

Tesis

Chávez Cabello, Luis Manuel. Modelo de dimensionamiento de un centro de atención de llamadas basado en simulación de sistemas. 2005. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 147 p.

Notas de Clase

Valdivieso Serrano, Luis Hilmar. Estadística Aplicada (2004). Lima, Facultad de Ciencias e Ingeniería – PUCP.

Notas de Cursos de Especialización

American Society for Quality, Six Sigma Formación Black Belt (Agosto 2005). Lima, Instituto para la Calidad – PUCP.

Diapositivas

Flores Molina, José Carlos. [diapositiva]. Lima, PUCP, 2006. Lean Six Sigma: Introducción a Organización Lean.

Flores Molina, José Carlos. [diapositiva]. Lima, Instituto para la Calidad, PUCP, 2006. Programa de Calidad Six Sigma.

QUIROZ, Patricia. Inversiones. [diapositiva]. Lima, PUCP, 2005. 84 diapositivas.

Documentos Electrónicos

REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DE ADUANAS

<http://www.aduanet.gob.pe/aduanas/informag/regley.htm>

Regulaciones aeronáuticas, de:

http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/aereo/regulaciones/docs/rap_rev17/rap111/rap_111_indice_rev17.PDF

Tasa de interés activa promedio de mercado afectiva, de:

http://www.sbs.gob.pe/PortalSBS/TipoTasa/TasaDiaria_1.asp

Páginas Web

Sociedad para la Promoción y Reversión Industrial

<http://www.spri.es/aSW/web/cas/index.jsp>

Asociación de Servicios Aeroportuarios Privados (ASAEP)

<http://www.asaep.com.pe/>

Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (SUNAT - Aduanas)

<http://www.aduanet.gob.pe/>

Banco Central de Reserva del Perú

<http://estadisticas.bcrp.gob.pe/>

