

Diseño de una propuesta de mejoramiento para el proceso de abordaje de equipaje en las bodegas de una aerolínea bajo la metodología SMED.

D.J. Ospina 1^a , J.S. Serna 2^a , O.M. Castañeda^b

^a Estudiante de Ingeniería Industrial, Universidad Católica de Oriente, Rionegro - Antioquia

^b Profesor, Asesor del Proyecto de Grado, Programa de Ingeniería Industrial, , Universidad Católica de Oriente, Rionegro-Antioquia

Resumen.

En el presente artículo se desea mostrar la implementación de mejora para el proceso «abordaje de equipajes en las bodegas del avión» de una aerolínea de bajo costo en su ruta comercial internacional diaria. La actividad analizada es identificada como cuello botella en la operación, creando demoras que repercuten de forma negativa en los costos e imagen de la compañía. El análisis y las propuestas para el plan de mejoramiento se realizan bajo el método SMED (Single Minute Exchange of Die, en español: *Cambio de matriz en menos de 10 minutos*) de la filosofía Lean Manufacturing (*Manufactura Esbelta*), que consiste en identificar aquellas operaciones internas que generan ineficiencias en el proceso y convertirlas en externas mejorando así el flujo de la operación, reduciendo los tiempos muertos del proceso de abordaje y disminuyendo el tiempo total de ciclo. Un mejoramiento en la productividad con vuelos puntuales en su itinerario garantiza la satisfacción del cliente y ahorra a la empresa costos incensarios por demoras y retrasos. Con la intervención, el tiempo de ejecución del proceso pasó de 26.17 minutos a 17.23 minutos lo que implica una mejora del 34.16 % en el proceso.

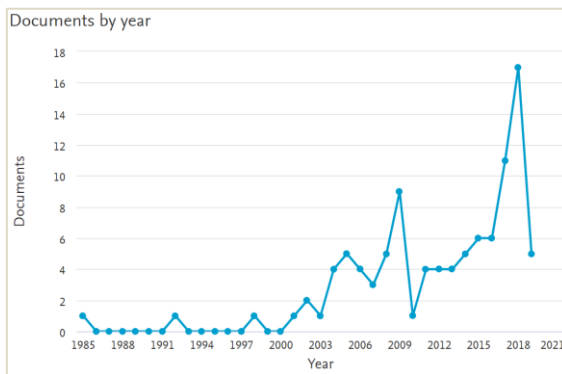
1. Introducción.

La aerolínea de bajo costo tiene su base central en Estados Unidos. Actualmente opera más de 600 vuelos diarios a 75 destinos en Norte América, Centro América, Sur América y el Caribe. En Colombia, la aerolínea inició operaciones en el año 2009 en la Ciudad de Bogotá; posteriormente, en marzo del año 2010 se dio apertura a la base de la ciudad de Rionegro en las instalaciones del aeropuerto José María Córdova. En un principio se contaba con una sola ruta comercial con una frecuencia de tres vuelos por semana. En la actualidad la compañía cuenta con una ruta diaria hacia la ciudad de Fort Lauderdale desde Rionegro, Bogotá, Cartagena y Cali; además de tres rutas semanales desde la ciudad de Armenia. A finales del año 2018 se inauguraron también tres rutas hacia la ciudad de Orlando desde Bogotá, Cartagena y Rionegro. El crecimiento de rutas, principalmente en la ciudad de Rionegro, ha llevado a revisar, de una forma detallada, cada uno de los procesos relacionados con la operación; poniendo un énfasis especial en aquellos que pueden catalogarse como críticos al desencadenar retrasos que se traducen en alzas y sobrecostos como es el caso del abordaje de equipaje en las bodegas del avión.

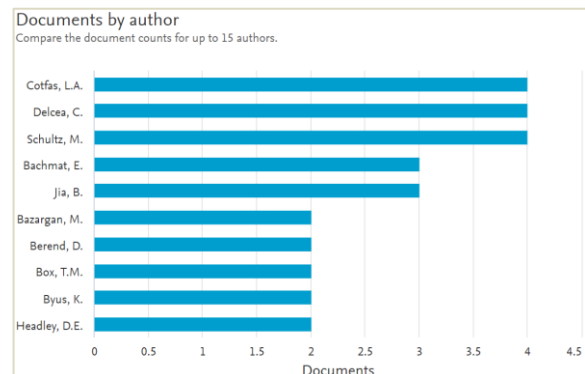
A continuación, se pretende conocer la literatura y el material de investigación que se ha elaborado en torno a la metodología SMED y el tema de aeropuertos en abordaje de maletas; aportando así, una conceptualización apropiada de los puntos definidos como principales en el desarrollo del estudio. Para el estado del arte se plantearon las siguientes ecuaciones de búsqueda que surgen de la combinación de las palabras clave y los principales ejes de consulta. La exploración del material se realizó en varios artículos científicos, trabajos escritos, monografías y tesis de grado a través de bases de datos como *Proquest*, *Scopus* y *Science Direct*. Aunque no generaron resultado alguno, aquí se indican las ecuaciones formuladas para una primera búsqueda:

- *Proceso abordaje aerolíneas - airline boarding process.*
- *SMED en aerolíneas - SMED on airline.*
- *SMED en abordaje de aviones - SMED in aircraft boarding.*
- *SMED abordaje de equipaje - SMED luggage boarding.*
- *Lean manufacturing abordaje de equipaje - Lean manufacturing luggage boarding.*

En una nueva búsqueda se usó la ecuación *Tiempos de abordaje en aerolíneas - Boarding times on airlines* que arrojó alrededor de 100 documentos, entre monografías, artículos científicos, apartados de libros y *reviews*. A continuación, se muestran los estudios encontrados clasificados en las gráficas por año de publicación, autor, país o territorio, tipo de documento y estudio por área de interés. Los gráficos y diagramas fueron tomados de la revista Scopus.



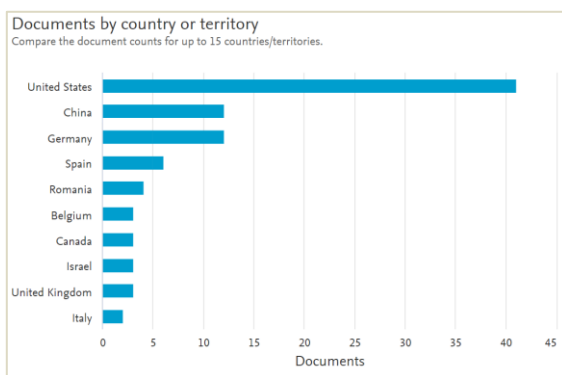
Gráfica 1. Documentos por año (*Scopus*).



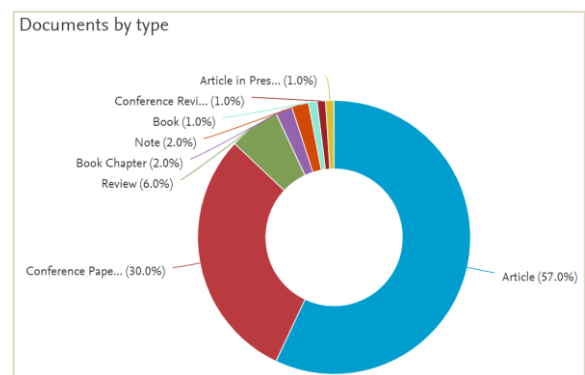
Gráfica 2. Documentos por autor (*Scopus*).

La Gráfica 1. muestra la publicación de material en torno a las palabras claves tiempos de abordaje en aerolíneas por año. La gráfica comprende los años desde 1985 a Junio de 2019 en donde se ve que la investigación alrededor del tema era nula o casi nula hasta el año 2000, con excepciones de una publicación en el año 1985, otra en 1992 y otra en el año 1998. A partir del año 2001 la gráfica muestra un incremento progresivo llegando al pico más alto de publicaciones en el año 2018 con un total de 17 escritos.

En la Gráfica 2. se muestran los autores que más documentos han escrito relacionados con los conceptos de la investigación. En ella se relacionan alrededor de 15 autores. Cotfas, LA., Delcea, C., y Schultz, M., cada uno con 4 documentos; Bachmat, E., y Jia, B., 3 escritos; los demás autores han escrito entre 2 o menos artículos.



Gráfica 3. Documentos por país o territorio (*Scopus*).

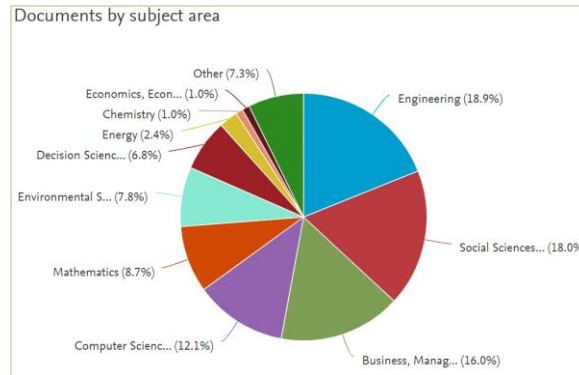


Gráfica 4. Documentos por tipo de referencia (*Scopus*).

La Gráfica 3. muestra la cantidad de documentos y estudios existentes por país o territorio. En el análisis se encuentran 10 países siendo Estados Unidos el país puntero con 42 estudios; le sigue China y Alemania con 12

publicaciones cada uno; en el gráfico siguen España y Rumania cada una con 6 y 4 referencias respectivamente; por último, están Bélgica, Canadá, Israel e Inglaterra con 3 referencias cada uno e Italia con 2 estudios. Los referentes realizados en Estados Unidos representan el 46.6% de las publicaciones a nivel mundial, el otro 53.3% se encuentra distribuido entre los 9 países restantes que aparecen en la gráfica.

La Gráfica 4. evidencia los estudios encontrados y categorizados por tipo de documento. Sobresalen las referencias de artículos científicos con un 57% y en conferencias con un 30%. Después están los hallazgos en reviews, 6% y en capítulos de libros 2%.



Gráfica 5. Documentos por temática de área (*Scopus*).

En esta última gráfica se observa la división y cantidad de estudios relacionados con las palabras claves y el área específica o temática de conocimiento. Los resultados afines con el campo de la ingeniería representan el mayor porcentaje de hallazgos junto con las ciencias sociales con un 18%; sigue el área de negocios y administración con 16%, ciencias computacionales tienen un 12.1%, un 8.7% las matemáticas, las ciencias ambientales 7.8%; entre otras que registran un menor porcentaje de documentos.

Entre los estudios encontrados se identifican en una menor proporción, documentos cuya temática principal se enfoca en el mejoramiento de actividades en tierra alrededor de la aeronave, la seguridad [1] y el abordaje de maletas; los estudios restantes, que son la gran mayoría, se centran en la comprensión y mejora de los factores que influyen o interfieren el ágil abordaje de pasajeros en la cabina del avión, proceso que genera grandes retrasos en el cumplimiento del itinerario de un vuelo comercial. Algunos artículos ofrecen modelos estadísticos involucrando el comportamiento del grupo y la cantidad de equipaje que se ingresa en la cabina del avión y el impacto que estos factores tienen de forma negativa y positiva en el proceso de abordaje [2]. Otros documentos introducen modelos lineales de enteros mixtos con el fin de minimizar el número total de interferencias de pasajeros que causan demoras en el abordaje de aeronaves ofreciendo soluciones alternativas eficientes basadas en la velocidad de embarque de los pasajeros [3]; Además, algunos trabajos presentan algoritmos, simulaciones, modelos estocásticos [4] y experimentos reales [5] con el fin de identificar factores específicos y métodos eficientes que permitan una reducción significativa en el tiempo empleado para el embarque de pasajeros en la cabina principal del avión [6].

Antecedentes

El objeto de estudio lo constituye el proceso operativo de los vuelos de la aerolínea operados desde el aeropuerto Internacional José María Córdova. El servicio de una aerolínea de bajo costo de transportar personas de un lugar a otro de forma puntual y confiable requiere de actividades rápidas y seguras que son de alta complejidad. Tareas que deben ser realizadas con precisión, rapidez, seguridad, en el menor tiempo posible y a costos mínimos [7]. En la actualidad el tiempo total del servicio para la ruta de la línea aérea es de 4 horas y 17 minutos, distribuidos entre el tiempo del check-in y registro de pasajeros que equivale a 3 horas y 32 minutos; y los 45 minutos restantes que son destinados al tránsito de la aeronave en el aeropuerto, tornándose este último en el momento más crítico de la operación y por tanto el objeto de estudio en esta investigación. El tránsito

comprende desde el parqueo del avión en la rampa hasta el remolque del mismo a la pista para su despegue. En tal tiempo se deben realizar un conjunto de actividades en la aeronave, en el área de rampa y en la sala de abordaje [5] que garanticen un vuelo seguro y una salida a tiempo [8].

Según la búsqueda efectuada en la literatura existente los estudios desarrollados en torno al tema se enfocan en el mejoramiento de las actividades en tierra alrededor de la aeronave. Se observa principalmente el uso de modelos matemáticos de optimización para lograr un mejor funcionamiento de las operaciones en tierra como la asignación adecuada del personal de trabajo alrededor de la aeronave [9] (pág. 34). Otros estudios muestran las ventajas y beneficios de la implementación de tecnologías RFID [10] y Lean Manufacturing [9] (pág. 117) en el abordaje de pasajeros y equipaje en el avión. Por lo general los estudios coinciden en sus conclusiones que, el fin último de las investigaciones y modelaciones es reducir la cantidad de trabajadores y el tiempo empleado para desempeñar las actividades de limpieza, desabordaje, abordaje de maletas y carga en el avión [11].

Planteamiento del problema

El proceso operativo de la aerolínea está planteado de forma lineal, de manera que, si una tarea falla o se retrasa, todas las demás actividades se ven afectadas [12]. El mal funcionamiento de la operación se ve directamente reflejado en los millonarios sobrecostos que una demora en el itinerario acarrea a la aerolínea además de la mala imagen y la propaganda no deseada [13]. Los costos adicionales se dan por tiempo extra de uso de infraestructura aeroportuaria; consumo de combustible excesivo por motores de la aeronave; compensaciones por alojamiento, alimentación y reacomodación de pasajeros, además de indemnizaciones por demora de maletas e insatisfacción de clientes por conexiones afectadas [14].

El periodo crítico en el proceso operativo de la aerolínea corresponde a los 45 minutos estipulados para el tránsito en tierra. En tal tiempo la línea de procesos realizados en el área de la rampa es la que más demoras genera en el cumplimiento del itinerario de la aeronave (ver Tabla 1). Las estadísticas muestran que el proceso que más retrasos ocasionó al vuelo en los últimos seis meses, según los datos de la aerolínea y la codificación internacional IATA [15], fue el proceso de abordaje de equipajes en la bodega del avión. Los continuos paros en la ejecución de actividades y la metodología empleada para llevar a cabo el control y registro de las maletas embarcadas en el avión son la fuente primordial de los retrasos en el cumplimiento del itinerario de los vuelos; retrasos que ocasionan sobrecostos alrededor de \$ 1800 USD por vuelo demorado [16]. Alzas en los costos derivadas del uso de infraestructura, equipos, combustible adicional, cancelaciones de rutas además de las compensaciones a pasajeros por pérdida de conexiones.

Procesos en rampa	Tiempo destinado (min)
Revisión externa de la aeronave	3
Desabordaje de maletas	12
Revisión interna de las bodegas y compartimentos	5
Abordaje de maletas	20
Chequeos del piloto y remolque del avión	5
Tiempo estándar total	45

Tabla 1. Procesos en el área de rampa durante los 45 minutos destinados al tránsito de la aeronave (*Autoría propia*).

Justificación

Un plan de mejoramiento en el proceso resulta altamente beneficioso para la aerolínea al generar impactos significativos en aspectos como: la reducción de sobrecostos, disminución de tiempos muertos y desperdicios, el cumplimiento del itinerario evitando gastos por compensaciones; una mejor trazabilidad del equipaje; y, sobre todo, el incremento de la satisfacción de sus clientes llevándolos a su destino de manera segura y puntual [17]

Objetivo

El análisis se centra en diseñar una propuesta de mejoramiento para el proceso de abordaje de equipaje en las bodegas de una aerolínea bajo la metodología SMED. Proceso que se evidencia como una de las principales causas de retrasos para el cumplimiento del tránsito en tierra establecido para el avión, además de otras como el ingreso de los pasajeros en la aeronave [18].

Objetivos específicos:

- Diagnosticar la situación actual del proceso abordaje de maletas en la bodega del avión de la aerolínea.
- Identificar las posibles causas externas e internas que generan demoras en el proceso de embarque de maletas en el avión.
- Definir los tiempos empleados por cada una de las actividades que conforman el proceso abordaje de equipajes.
- Formular una propuesta de mejora bajo la metodología SMED en la que se cumpla con el tiempo estándar asignado al proceso.

2. Materiales y métodos.

En el presente trabajo se utiliza el tipo de investigación descriptivo con un enfoque cuantitativo [19]. Por medio de la recolección de datos se pretende identificar, analizar y describir aquellas variables que influyen de forma negativa en el proceso crítico abordaje de equipajes en la bodega del avión y que frenan la productividad y el buen funcionamiento de toda la operación en condiciones normales. La información recolectada es de gran ayuda para vislumbrar la situación actual del entorno de trabajo, las ineficiencias existentes en el proceso y las posibles oportunidades de mejora, todo con el fin de aumentar la productividad.

El trabajo busca intervenir, por medio de las herramientas de la metodología Lean Manufacturing - SMED, las variables que están presentes en el proceso de abordaje. Tal intervención va desde la observación y entendimiento de cada una de sus actividades y partes en la articulación total, para visualizar falencias, desperdicios, tiempos muertos, etc.; y así elaborar una propuesta de mejora oportuna y viable para el mismo [20].

Lean Manufacturing: La manufactura esbelta (en inglés, Lean Manufacturing), tiene su origen en Japón, específicamente en el sistema productivo de la compañía Toyota. Lean Manufacturing se entiende como una filosofía de producción, que pretende hacer más con menos, y cuyas intenciones principales comprenden la eliminación del desperdicio (todas aquellas actividades que no aportan valor al producto) y la creación de valor [21]. En la literatura se encuentran diversas definiciones de producción esbelta, y una de ellas afirma que “es un sistema integrado que permite lograr la producción de bienes y servicios con el mínimo costo”, mediante la aplicación de diferentes herramientas administrativas y de producción que incluye entre otras, la mejora continua [22]. Así, el objetivo de Lean Manufacturing apunta a minimizar los efectos de la variabilidad en la cadena y el tiempo de procesamiento en la misma.

La implementación de esta metodología trae consigo: reducción del tiempo de entrega a los clientes, reducción del desperdicio, ahorros financieros, reducción de retrabajos y entendimiento de los procesos [21].

SMED: La metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) se define como la teoría y procedimiento proyectado para efectuar las operaciones de cambio de utensilio-herramienta en menos de diez minutos (es

importante señalar que no para todos los casos el rango de diez minutos es aplicable, pues este varía según el proceso) [23]. El SMED aporta ventajas competitivas en una compañía, minimiza el tiempo en una línea de producción, reduce costos y aumenta la flexibilidad o capacidad de adaptarse a los cambios en la demanda; su fin último es incrementar la tasa de utilización de las máquinas y por consiguiente su OEE (% utilización de máquina), pues se minimiza significativamente los tiempos en que la máquina está parada [24].

En el proceso aplicativo del método, no sólo cuentan los costos vinculados con las tareas específicas de preparación y cambio, como lo son los tiempos muertos de producción, tamaño del lote, excesos de inventarios de maletas en proceso, plazos de entrega y tiempo del ciclo, sino también el prestar mejores servicios, disminuir la cantidad de operaciones, eliminar desperdicios y mejorar la utilización de la capacidad productiva; para ello se hace uso de herramientas estadísticas, métodos de análisis e investigación, sistemas para la resolución de problemas y la creatividad aplicada [25].

Algunas herramientas utilizadas en la metodología SMED son, utilización de cronómetro, gráfica de Gantt, Cursograma / fluxograma, planilla de relevamiento, planilla de análisis y mejora, diagrama de Pareto, cuellos de botella, análisis de bases de datos de tiempos muertos, histogramas, diagrama del proceso de operación, y Benchmarking.

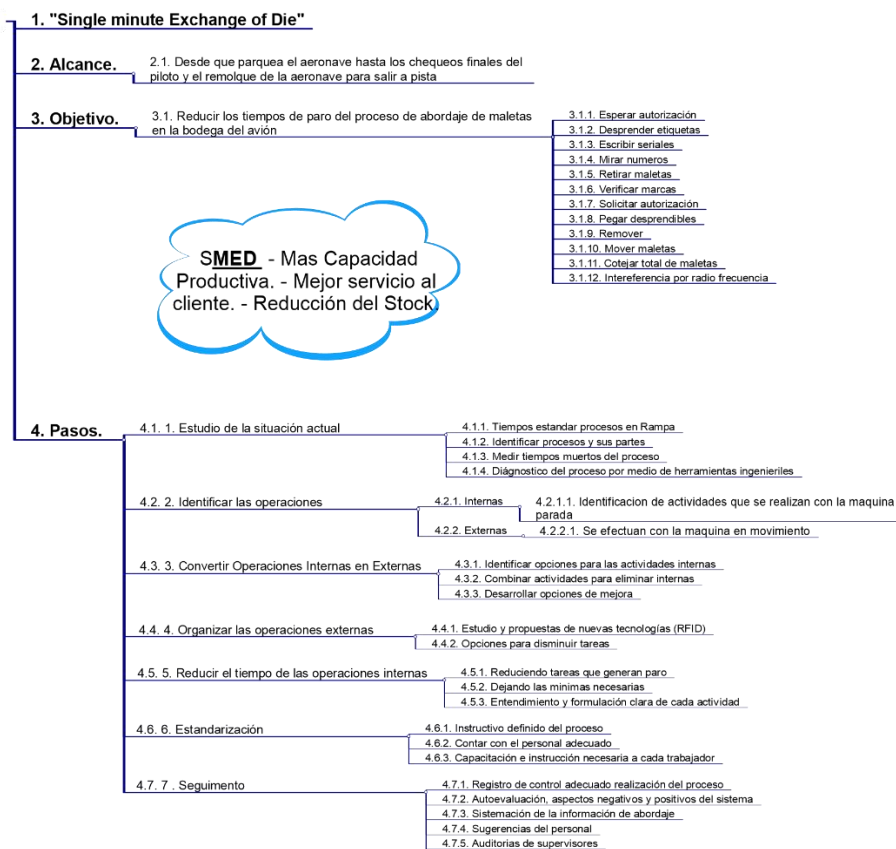


Figura 1. Marco teórico del SMED (Autoría propia).

Existen dos tipos de operaciones en el tiempo de cambio, afirma Shigeo Shingo [24], internas y externas. Las operaciones internas son aquellas que deben realizarse con la máquina parada, mientras que las operaciones externas pueden realizarse con la máquina en marcha. El objetivo de la investigación es analizar todas estas operaciones, clasificarlas, y convertir operaciones internas a externas, además de acortar en tiempo las operaciones internas con la menor inversión posible. Para ello se recurre a cuatro etapas de vital importancia con el fin de obtener buenos resultados: Etapa preliminar: observación y entendimiento del proceso, primera etapa: separar tareas internas y externas, segunda etapa: transformar tareas internas en externas y, tercera etapa: perfeccionar proceso [26].

Como primer paso se tiene la *Etapa preliminar*, lo que no se conoce no se puede mejorar, por tanto, es necesario tener un saber específico del proceso y asegurar que todas las personas que han de participar en la preparación reciban toda la información y entrenamiento necesario. En la *Primera etapa* se agrupan las tareas internas y externas. Acá es necesario realizar un listado de las actividades secuenciales ejecutadas, con el fin de identificar cuáles son internas y externas, y así asegurar que no hay errores en las condiciones de operación, evitando tiempos muertos. En la *Segunda etapa*, el objetivo es convertir tareas internas en externas. El tiempo en que el sistema no está produciendo y no agrega valor se le considera como desperdicio; por lo tanto, se requiere de su eliminación. En esta etapa es necesario hacer una revisión minuciosa de las actividades internas, con el propósito de hacer la conversión pertinente y así disminuir tiempo improductivo. En este paso se requiere hacer todo lo necesario (preparar listas de chequeo, personal, equipaje, etc.) de modo de que cuando se realice el proceso específico funcione rápidamente. Es de vital importancia la eliminación de ajustes, tales operaciones suelen representar del 50 al 70% del tiempo de preparación interna, afirma Francis Peredes [23]. Se llama ajuste en realidad a las no conformidades que a base de prueba y error van llegando hasta hacer el producto de acuerdo a las especificaciones (además se emplea una cantidad extra de material, papelería, insumos, entre otros). En la fase final o *Tercera etapa* se busca perfeccionar las tareas internas y externas. El objetivo es mejorar los aspectos de la operación, incluyendo todas y cada una de las tareas elementales (tareas externas e internas) [26].

La optimización de las operaciones internas y externas restantes, aún las reducciones obtenidas en las etapas previas pueden ser mejoradas. En este paso, las mínimas actividades internas que quedan pueden ser aminoradas y las demás, aunque sean externas, también pueden mejorar. El objetivo es estandarizar las operaciones de modo que, con la menor cantidad de movimientos, se vaya perfeccionando el método y forme parte del proceso de mejora continua de la empresa. Una vez implementados los pasos de la metodología SMED y reducidos los tiempos de paro en máquina durante el ingreso del equipaje facturado en las bodegas del avión, se garantizará el cumplimiento en el itinerario del vuelo y los beneficios que ello acarrea a la aerolínea y sus clientes. (ver Figura 1).

3. Resultados y análisis.

Diagnóstico.

El contacto inicial con la aerolínea se tuvo con el gerente de la ciudad de Rionegro, quien expuso los procesos fundamentales del vuelo y el deseo de reducir el tiempo empleado para el abordaje de equipaje en la bodega del avión. El trabajo siguió los pasos o etapas de la metodología SMED. En la fase preliminar se procedió a una observación y medición de la operación con el fin de identificar el problema fundamental. Aquí se desglosaron las actividades del proceso (ver Anexo 1) y se establecieron, por medio de mediciones, los tiempos necesarios para la ejecución de cada una de ellas. En este primer paso se hizo uso de herramientas como el árbol de problemas, diagramas de flujo y de Pareto, matriz de interacciones y Tiempos muertos en el proceso. El segundo paso consistió en separar las actividades de la operación analizada en internas y externas, es decir, se identificaron aquellas funciones del abordaje de maletas en las que había que detener el conveyor o banda transportadora e interrumpir el ingreso de equipaje en la bodega del avión [27]. Tal análisis se realizó por medio de la matriz de decisión, control y riesgo, y el layout del proceso (ver Anexo 2) con la especificación de cada actividad. En un tercer momento se formuló la propuesta de mejora; una vez conocidas las actividades internas que generan retrasos en el proceso, se ofreció una propuesta alternativa a la empleada hasta el momento en el abordaje de maletas, convirtiendo actividades internas en tareas externas, lo que disminuiría las intermisiones

en el proceso y reduciría el tiempo empleado para abordar las maletas. En un cuarto momento se buscó ofrecer herramientas para continuar con la mejora y perfeccionamiento de las actividades del proceso.

De manera inmediata se procedió a la elaboración del “árbol de problema” (ver Figura 2). Éste permitió obtener un diagnóstico de la problemática identificando las causas y efectos que se generan del mismo [10]. Con tal herramienta se quiso evidenciar tanto factores de influencia externa, como aquellos de carácter interno que podrían ser causa inmediata del problema de estudio. Por causas externas se entienden aquellas variables que son ajenas al sistema y por tanto provienen del entorno. Estas variables son también conocidas como no controlables ya que no son originadas por los procesos internos anteriores al abordaje de equipaje sino por elementos sobre los que no se posee un dominio o a las que no se les puede dar una solución de manera inmediata. Se hace hincapié en los factores internos pues es a éstos a los que se intentará encontrar una solución adecuada, al considerarse como variables controlables del sistema analizado [28].

De los datos recolectados se evidenció que las causas principales de los retrasos en el abordaje del equipaje se pueden identificar en dos grandes grupos: causas externas y causas internas. Las causas internas del problema o endógenas, nacen por retrasos en los procedimientos anteriores: retraso en la llegada del equipaje a la rampa, demora en el desembarque de maletas, lenta revisión de las bodegas y compartimentos, además de la mala planeación y diseño de operación, errores humanos, descuidos o negligencias. Para el proceso en estudio se determinaron cuatro causas externas: *la lentitud en los procesos de seguridad y migración, la demora en la revisión del equipaje por parte del canino antinarcóticos, la inclemencia del clima y el registro a último momento de pasajeros y su equipaje*. Las causas internas halladas fueron dos: *falta de personal calificado, y falla en la metodología empleada para registrar, controlar y abordar el equipaje en la bodega del avión*. Teniendo esta última una influencia mayor al emplear 44.4% del tiempo disponible estipulado para el tránsito de la aeronave.

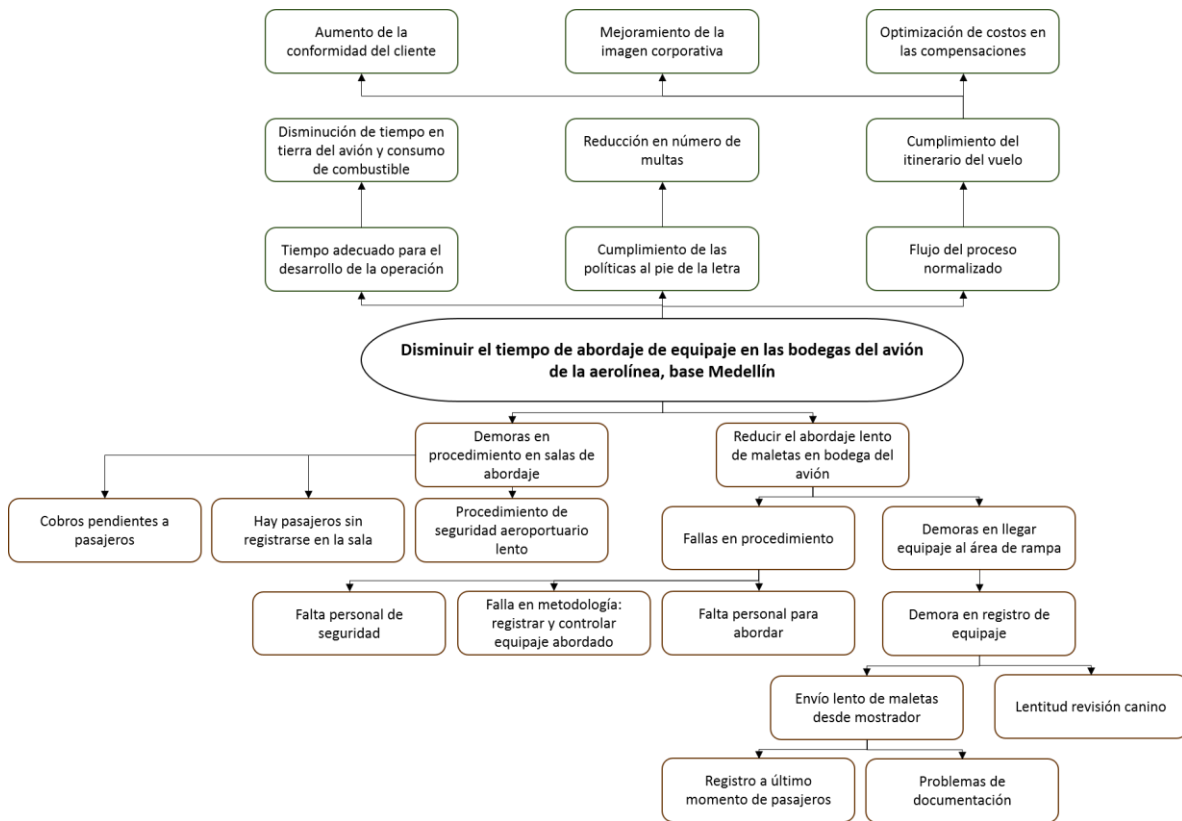


Figura 2. Árbol de problemas (Autoría propia).

Siguiendo con el enfoque del principio rector Lean Manufacturing - SMED se procedió al uso de técnicas de separación y conceptualización del proceso para su mayor entendimiento. Se construyó el diagrama de flujo (ver Anexo 3) dando así una estructuración, nombre y descripción detallada a cada una de las etapas conformantes del proceso problemático “abordaje de equipaje facturado en la bodega del avión”. Por diagrama de flujo se entiende la representación gráfica de un proceso [29]. El alcance del diagrama de flujo va desde la solicitud de autorización para dar inicio al abordaje de maletas hasta el cierre de la bodega del avión. Cada etapa del proceso se muestra descrita y representada por un símbolo específico que permite apreciar el número de actividades, verificaciones y la cantidad de reprocesos que se pueden dar en el proceso descrito. Para el caso del abordaje de equipaje, se evidenciaron nueve actividades, tres verificaciones y dos posibles reprocesos. Actividades que en conjunto tienen una duración estándar de 20 minutos.

Luego se efectuaron algunas mediciones y se recopilaron datos históricos registrados en los controles de la aerolínea. Las mediciones se realizaron a los paros generales de la operación (entendiéndose como el proceso desde que el pasajero realiza el registro de su equipaje hasta la ubicación de la última maleta en la bodega del avión) así como a los paros que una maleta experimenta en el proceso específico de abordaje. Las medidas se tomaron por un periodo de seis meses desde el mes de marzo del año 2018 al mes de septiembre del mismo año. Con las mediciones tomadas se elaboró un cuadro de tiempos muertos con el objetivo de determinar la frecuencia de ocurrencia y el tiempo de duración de cada una de las actividades envueltas en el proceso (ver Anexo 4) y su respectivo diagrama de Pareto (ver Anexo 5).

Para la operación en general de la aerolínea se identificaron cinco tipos de paros no controlables con una frecuencia total de ocurrencia diaria de 6 veces, empleando un tiempo de paro diario de 26,7 minutos. Entre las variables controlables de la operación global sobresalen como generadoras de mayor desperdicio en tiempo aquellas actividades concernientes al proceso crítico *abordaje de maletas*. El tiempo total de los paros por variables controlables en la operación es de 113.5 horas y una frecuencia total de ocurrencia de 22283 veces en los últimos seis meses (ver Anexo 4).

Del mismo modo se determinó la frecuencia de ocurrencia y la medición de tiempos de paros para cada una de las actividades del proceso de abordaje de maletas, estableciendo el tiempo de paro total por maleta en el proceso específico (ver Tabla 2). En el caso de paros para el abordaje de maletas en la bodega del avión se desagrupó el proceso en las principales actividades. De la división se evidenciaron siete tareas: *solicitud de autorización para abordar el equipaje, posicionar maleta en banda transportadora, verificar sello de seguridad, remover etiqueta desprendible, pegar desprendible en hoja de control, escribir cuatro últimos números del serial de la maleta, relacionar el tipo de maleta según el código IATA, verificación del cargue en la bodega y cierre de la misma*. El tiempo total actual de ejecución de tales actividades es de 26.17 minutos, incumpliendo entonces con el tiempo estándar de 20 minutos destinado al proceso por el cronograma de la aerolínea (ver Tabla 1).

TIPOS DE PARO ABORDAJE DE MALETAS	FRECUENCIA DÍA	FRECUENCIA MES	FRECUENCIA ÚLTIMOS 6 MESES	TIEMPO DE PARO DÍA POR MALETA(MIN)	TIEMPO DE PARO DÍA MALETAS (MIN)	TIEMPO DE PARO MES (MIN)	TIEMPO DE PARO ÚLTIMOS 6 MESES (MIN)	TIEMPO DE PARO ÚLTIMOS 6 MESES (HORAS)
Solicitud de autorización para abordar equipaje	3	90	540	2,5	7,5	225	1350	22,5
Posicionar maleta sobre banda transportadora	112	3360	20160	0,013	1,4	44,6	268,1	4,4
Verificar sello de seguridad	112	3360	20160	0,023	2,5	77,2	463,6	7,7
Remover etiqueta desprendible	112	3360	20160	0,016	1,7	53,7	322,5	5,3
Pegar desprendible en hoja de control	112	3360	20160	0,038	4,2	127,6	766,1	12,7
Escribir cuatro últimos números del serial de la maleta	112	3360	20160	0,04	4,4	134,4	806,4	13,4
Relacionar el tipo de maleta	112	3360	20160	0,026	2,9	87,3	524,1	8,7
Verificación del cargue en bodega	1	30	180	0,416	0,4	12,4	74,8	1,2
Cierre de bodega	1	30	180	0,75	0,7	22,5	135	2,2
TOTAL	677	20310	121860	3,8	26,2	785,2	4710,9	78,5

Tabla 2. Cuadro de paros proceso de abordaje de maletas (*Autoría propia*).

De la Tabla 2 se realizó un diagrama de Pareto con el objetivo de ilustrar los datos recolectados en las tablas de paros y visualizar aquellas actividades que más retrasos generan en el proceso abordaje de equipajes en la bodega del avión. El diagrama de Pareto del proceso abordaje de maletas mostró que la actividad “solicitud para abordar maletas” generó un paro de 22.5 horas en los últimos seis meses, lo que representa un 29% de los paros totales en el proceso. La segunda actividad que más retraso produjo fue “pegar desprendible en hoja de control” con un total de 13.44 horas, equivalente al 17%. Les sigue la tarea “escribir 4 últimos números del serial de la maleta”, con un total de 12.7 horas, lo que significa un porcentaje del 16%; después viene “verificar sello de seguridad”, 10.08 horas correspondiente al 13%; por último, están las tareas “relacionar tipo de maleta” y “remover etiqueta desprendible” con un total de 6.72 horas y 5.37 horas respectivamente, es decir 9% y 7% de los paros totales. El paro total generado por estas seis actividades al día es de 23.52 minutos consumiendo ya tales tareas la totalidad del tiempo disponible de 20 minutos por vuelvo para el proceso.

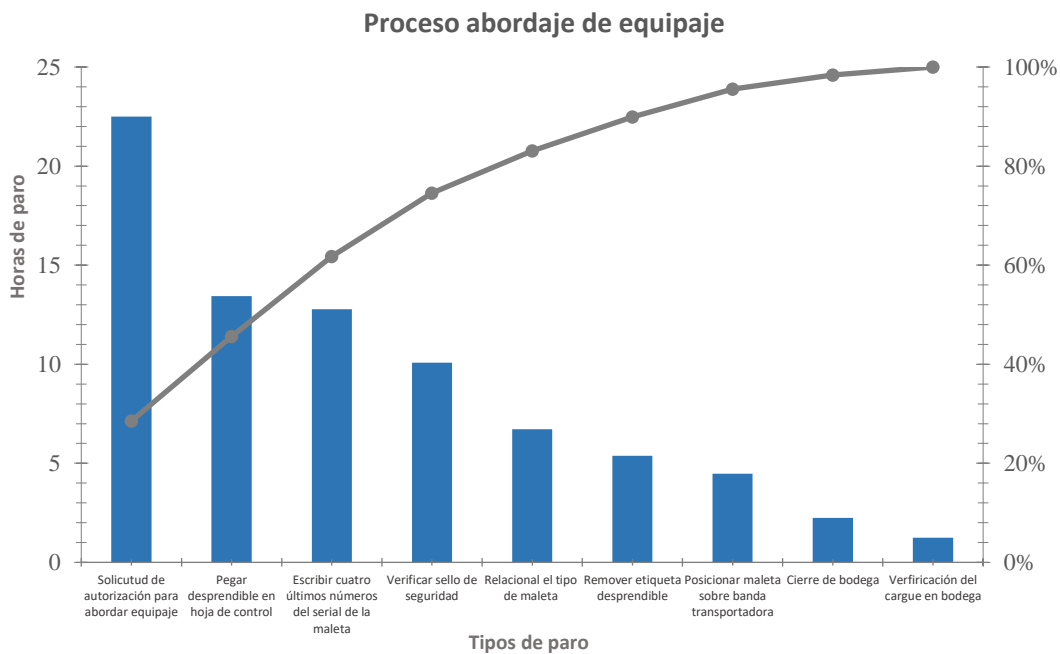


Gráfico 6. Diagrama de Pareto paros abordaje de maletas (Autoría propia).

Una vez se identificaron las variables que más demoras generan en el proceso de abordaje se elaboró la matriz de interacción del proceso bajo los criterios de decisión, control y riesgo (ver Anexo 6). La matriz permite observar y cuantificar cada una de las actividades bajo tales parámetros y establecer la relación e influencia que tiene cada una de éstas entre sí (ver Figura 3).



Figura 3. Interacción actividades del proceso de abordaje bajo los parámetros de decisión, control y riesgo. Las flechas amarillas indican decisión, las negras control y las rojas riesgo (*Autoría propia*).

Propuesta de mejora.

Si se trata de mejorar los tiempos de preparación de un avión en las escalas técnicas, el tiempo es una variable esencial que debe ser gestionada con suma atención dada la fundamental trascendencia que ella tiene tanto para la satisfacción de los clientes/consumidores, como en la rentabilidad del negocio.

En la primera etapa de la implementación de SMED se separan las tareas del proceso en actividades internas y externas. Para encontrar tal distinción se usó la caracterización de funciones según el diagrama de decisión, control y riesgo. Actividades de decisión son todas aquellas en las que se requiere una autorización externa para proceder a efectuar la tarea. Por control, se dice de toda tarea en la que se solicita un registro manual o electrónico para conservarse en los documentos históricos de la aerolínea [30]. En las actividades de riesgo se engloban todas aquellas funciones que ponen en detrimento el cumplimiento del tránsito establecido para el avión. El análisis realizado al proceso de abordaje arrojó que tres actividades se clasifican como variables de decisión: "autorización para abordar maletas"; "posicionar maleta sobre banda transportadora" y "cerrar bodega". Las tareas de control son siete: "revisar sellos de seguridad", "desprender etiqueta de maleta", "pegar desprendible en hoja de control", "relacionar cuatro dígitos del registro", "apuntar tipo de maleta", "verificación de cargue y bodega", y por último "cierre de bodega". En última instancia, se encuentran las variables de riesgo, y que en este caso son clasificadas como operaciones internas al generar la mayor cantidad de tiempos muertos durante el proceso de abordaje y ser causas directas para el retraso del vuelo. El total de tareas catalogadas bajo este criterio son seis: "autorización para abordar maletas", "revisar sellos de seguridad", "desprender etiqueta de maleta", "pegar desprendible en hoja de control", "relacionar los cuatro dígitos del registro", y "apuntar tipo de maleta".

En la segunda etapa de la metodología se debe convertir la mayor cantidad de actividades que causan retrasos y por tanto convertir internas en externas. De las tareas identificadas como riesgosas, la que causa un tiempo de paro mayor en la operación es la actividad “autorización para abordar maletas” con un total de 7.5 minutos. En el plan de mejora se propone modificar la operación, que a su vez es de decisión y riesgo, cambiándola por una lista de chequeo interna que no dependa de autorizaciones por parte de personal ajeno a la plataforma y zona de abordaje. Para dar inicio al embarque de maletas el agente de rampa debe estar seguro de haber realizado las siguientes actividades: *Desembarcar maletas que llegan en el avión, inspeccionar compartimentos internos de la bodega una vez descargada; contar con los carros portaequipajes en la rampa provenientes del área de selección y revisión de maletas; y por último, confirmar que los carros cuenten con los debidos precintos y sellos de seguridad.* Una vez la lista de chequeo se verifica y está en orden, el agente de forma autónoma podrá proceder al abordaje de las maletas en la bodega del avión. El control de la lista no debe tardar más de un minuto y medio. Con tal cambio se pasa de una actividad que consumía 7.5 minutos al proceso, a una nueva que emplea 1.5 minutos por vuelo diario, lo que implica una mejora del 80% en la ejecución de tal actividad.

Para el resto de las operaciones internas analizadas bajo el parámetro riesgo: “desprender etiqueta de maleta”, “pegar desprendible en hoja de control”, “relacionar los cuatro dígitos del registro”, y “apuntar tipo de maleta”, se propone la implementación de un nuevo formato de control (ver Anexo 7) que reemplace el existente en el que se debía pegar los desprendibles de las maletas (ver Anexo 8) y diligenciar con su respectiva información (ver Anexo 9) consumiendo tiempo significativo del proceso al tener que detener el mismo para diligenciar el formato. Respecto a la actividad “revisar sellos de seguridad” no se introduce ninguna modificación ya que tal tarea debe efectuarse según los parámetros de seguridad establecidos por el aeropuerto y los instructivos de la aerolínea. En primer lugar, se aclara que muchas de estos controles ya se encuentran en los formatos realizados por el agente encargado de separar, organizar y direccionar las maletas en el área de selección de equipajes. En el nuevo formato solo se deberá registrar el número que se encuentra en la etiqueta de la maleta indicando el orden en el que fue registrada (ver Anexo 10). Los posibles números a registrar van en orden secuencial desde el 1 hasta el 182, que es la capacidad máxima de pasajeros que puede transportar el avión. Además de reducir el número de actividades pasando de cuatro a una, se proporciona una forma más ágil para realizar el cotejo de las maletas que se abordan en la bodega de la aeronave con aquellas registradas en el sistema y en el área de selección de equipajes. Con la implementación de ambos cambios el tiempo total del proceso de embarque de maletas se reduce aproximadamente en 8.5 minutos pasando de un tiempo de 26.17 minutos a un tiempo mejorado de 17.23 minutos. De tal modo se cumpliría con el tiempo estándar promedio de la aerolínea de 20 minutos (ver Tabla 1) destinado al proceso de ingreso de maletas en los compartimentos del avión. Con la implementación de la mejora se reduciría el tiempo en 2.77 minutos por debajo del tiempo estándar establecido, tiempo que otorga un margen de acción extra para actuar frente a cualquier situación crítica que pueda presentarse en el día a día alrededor de la aeronave y los procesos simultáneos que en ella se realizan.

Es importante, para que la mejora se vea efectiva, generar un instructivo detallado en el que se explique de forma clara el paso a paso de cada una de las actividades a realizar según la mejora implementada, en el proceso de abordaje de maletas en el avión. Una vez formulada la norma se comunicará a los empleados a través de una circular con los cambios realizados en la forma de proceder, la nueva plantilla de registro de abordaje (ver Anexo 7) y la forma correcta de ingresar el cargue en los compartimentos del avión.

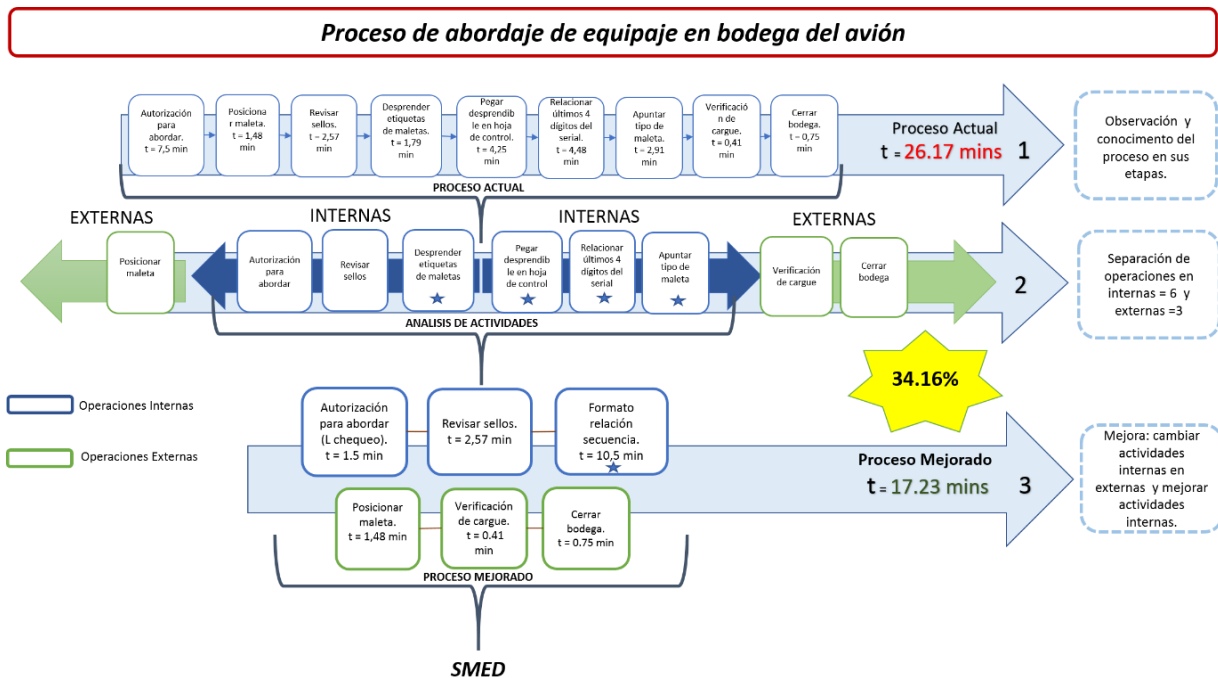


Figura 4. Proceso de mejora (Autoría propia).

Para continuar con la etapa final de SMED en donde se busca la optimización del proceso a través del perfeccionamiento de las tareas internas y externas, se establece la fase de seguimiento y control oportuno. Su propósito es proporcionar un entendimiento y validación del plan de mejoramiento, así como la identificación de posibles falencias en el mismo y el diseño de nuevas acciones que puedan otorgar una mayor productividad al proceso. El plan de seguimiento debe contar con un conjunto de acciones que se llevarán a cabo para la comprobación de la correcta ejecución de las actividades establecidas en la mejora. En primer lugar, se deberá llevar registro diario del tiempo empleado en el proceso de abordaje. El registro debe ser tabulado sistemáticamente con el fin de observar, por medio de análisis estadísticos, el comportamiento y estado del proceso mejorado. Una vez procesados los datos, es correcto recurrir a indicadores de gestión, con el propósito de entrar en el ciclo de mejora continua, tomando decisiones asertivas que aumenten paulatinamente la eficiencia del proceso. Adicional a esto, se debe realizar un monitoreo continuo del proceso a través de auditorías internas por parte de los supervisores y coordinadores de operación para evaluar si se cumple en la práctica las pautas establecidas en el instructivo elaborado. El resultado de las auditorías permite establecer una visión general del rendimiento y productividad, así como la evolución del proceso mejorado.

4. Conclusiones y recomendaciones.

Con la intervención del proceso “abordaje de equipaje en las bodegas del avión” por medio de la implementación de SMED, se pasó de seis actividades internas a tres reduciendo tiempos muertos y desperdicios. El tiempo de ejecución del proceso pasó de 26.17 minutos, incumpliendo el tiempo estándar establecido, a 17.23 minutos lo que implica una mejora del 34.16 % en el proceso.

Con el estudio se buscó identificar y atacar las principales causas de los tiempos muertos y desperdicios del “abordaje de equipaje en la bodega del avión” que según la alta gerencia de la aerolínea y el diagnóstico realizado repercuten en el mal funcionamiento de la operación. Las demoras generadas se originaban por los métodos utilizados para llevar a cabo la actividad de control y el abordaje de equipaje facturado. Los retrasos, y por consiguiente el exceso de tiempo en tierra de la aeronave se convierte en millonarios sobrecostos y mala imagen para la aerolínea.

· El análisis de los factores críticos en el desarrollo del proceso inicial para el registro y control del equipaje abordado generó cuestionamientos sobre la razón de ser de algunas actividades internas y sus tiempos empleados; lo que dio paso a la identificación de elementos de mejora por medio de la metodología SMED. Entre estas, la reducción de actividades y esperas innecesarias y el aprovechamiento de recursos que estaban siendo desperdiciados. Todo esto llevó a la simplificación del proceso y la reducción del tiempo de ejecución del mismo.

· Según la filosofía Lean y su principio SMED, la productividad y buen funcionamiento del proceso depende de la forma como cada miembro del grupo realice las tareas y las integre con el resto del proceso operativo. Es importante entonces la realización pertinente de los programas de inducción y entrenamiento; la socialización de los instructivos normalizados con la implementación de las mejoras y las capacitaciones periódicas a los colaboradores en rampa y a los agentes de seguridad sobre el paso a paso de las tareas a realizar en la operación.

· Por medio de la implementación adecuada del plan de mejoramiento en el proceso de abordaje de equipajes en la bodega del avión se logra la abolición de actividades innecesarias generadoras de desperdicios y se reduce el tiempo total de ciclo del proceso.

· La técnica SMED que surgió en el sector automotriz, al igual que toda la metodología Lean, tiene aplicación en el sector aeronáutico, como así se demuestra en el caso práctico presentado.

· Para la implementación de la mejora según la metodología SMED, se hizo uso de herramientas de observación, medición, diagnóstico y análisis. Entre las principales usadas se encuentra la utilización de cronómetro, gráfica de Gantt, Cursograma / fluxograma, planilla de relevamiento, planilla de análisis y mejora, diagrama de Pareto, cuellos de botella, análisis de bases de datos de tiempos muertos, histogramas, diagrama del proceso de operación, y Benchmarking. Instrumentos todos ellos de gran utilidad para el ingeniero industrial ya que los resultados y propuestas del trabajo se basan en datos concretos y objetivos otorgando confiabilidad a la investigación.

· Se recomienda la realización de un estudio evaluando costos e implementación de la tecnología RFID para el control y registro de las maletas que ingresan en el avión. El uso de esta tecnología, además de reducir el número de operaciones internas, eliminaría todo tipo de registros manuales en donde puede estar presente el error humano y permitiría un cotejo inmediato y seguro de toda aquella pieza que se ingresa en el avión. Lo que resultaría en el desarrollo adecuado del proceso permitiendo tránsitos rápidos, ahorrando a la empresa costos innecesarios por demoras y retrasos.

5. Tabla de Anexos o Apéndices

Tabla 1. Documentos adicionales incluidos con el proyecto de grado.

Nombre	Desarrollo (propio/terceros)	Tipo de Archivo	Enlace google drive (https://goo.gl/)
ANEXO 1	Autoría propia	PNG	https://drive.google.com/drive/folders/1d3b3X_shiMguC_67wE4trwQ79iTBpYq5
ANEXO 2	Autoría propia	PNG	https://drive.google.com/drive/folders/1d3b3X_shiMguC_67wE4trwQ79iTBpYq5
ANEXO 3	Autoría propia	PNG	https://drive.google.com/drive/folders/1d3b3X_shiMguC_67wE4trwQ79iTBpYq5
ANEXO 4	Autoría propia	PNG	https://drive.google.com/drive/folders/1d3b3X_shiMguC_67wE4trwQ79iTBpYq5
ANEXO 5	Autoría propia	PNG	https://drive.google.com/drive/folders/1d3b3X_shiMguC_67wE4trwQ79iTBpYq5
ANEXO 6	Autoría propia	PNG	https://drive.google.com/drive/folders/1d3b3X_shiMguC_67wE4trwQ79iTBpYq5
ANEXO 7	Autoría propia	XLSX	https://drive.google.com/drive/folders/1d3b3X_shiMguC_67wE4trwQ79iTBpYq5
ANEXO 8	Autoría propia	PNG	https://drive.google.com/drive/folders/1d3b3X_shiMguC_67wE4trwQ79iTBpYq5
ANEXO 9	Autoría propia	PNG	https://drive.google.com/drive/folders/1d3b3X_shiMguC_67wE4trwQ79iTBpYq5
ANEXO 10	Autoría propia	PNG	https://drive.google.com/drive/folders/1d3b3X_shiMguC_67wE4trwQ79iTBpYq5

Referencias.

- [1] K. Leone y R. Liu, «The key design parameters of checked baggage security screening systems in airports», *J. Air Transp. Manag.*, vol. 11, n.º 2, pp. 69-78, 2005.
- [2] T. Q. Tang, S. P. Yang, H. Ou, L. Chen, y H. J. Huang, «An aircraft boarding model with the group behavior and the quantity of luggage», *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 93, n.º June, pp. 115-127, 2018.
- [3] M. Bazargan, «A linear programming approach for aircraft boarding strategy», *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 183, n.º 1, pp. 394-411, 2007.
- [4] M. Schultz, «A metric for the real-time evaluation of the aircraft boarding progress», *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 86, n.º December 2017, pp. 467-487, 2018.
- [5] X. Ren y X. Xu, «Experimental analyses of airplane boarding based on interference classification», *J. Air Transp. Manag.*, vol. 71, n.º June, pp. 55-63, 2018.
- [6] F. Jaehn y S. Neumann, «Airplane boarding», *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 244, n.º 2, pp. 339-359, 2015.
- [7] IATA, «Airport Handling Manual», n.º December, 2017.
- [8] A. Kazda y M. Hromádka, «How To Improve Airport Operation», *Number*, vol. 5, n.º 5, pp. 118-122, 2011.

- [9] C. Proceedings, «The 3rd International Aviation Management Conference 2016», n.º November, 2016.
- [10] A. Thorne, D. Barrett, y D. Mcfarlane, «Impact of RFID on Aircraft Turnaround Processes», *Proc. 13th Int. Conf. Ind. Eng. Manag. Syst.*, n.º January 2007, 2007.
- [11] K. Marintseva, G. Yun, y S. Kachur, «Resource Allocation Improvement in the Tasks of Airport Ground Handling Operations», *Aviation*, vol. 19, n.º 1, pp. 7-13, 2015.
- [12] D. Guimarans, P. Arias, M. Tomasella, y C.-L. Wu, *A Review of Sustainability in Aviation*. Elsevier Inc., 2018.
- [13] D. M. A. Baker, «Service Quality and Customer Satisfaction in the Airline Industry: A Comparison between Legacy Airlines and Low-Cost Airlines», *Am. J. Tour. Res.*, vol. 2, n.º 1, pp. 67-77, 2013.
- [14] S. B. Cali, C. Felipe, y S. B. Cali, «Responsabilidad contractual del transportador aéreo en Colombia por accidentes , retrasos , pérdidas y daños al equipaje», n.º 2, 2012.
- [15] T. Defects, A. O. G. Spares, A. Change, y S. Aircraft, «Iata delay codes», n.º August, 2009.
- [16] S. J. Forbes, «The effect of air traffic delays on airline prices», *Int. J. Ind. Organ.*, vol. 26, n.º 5, pp. 1218-1232, 2008.
- [17] D. Stadnicka y R. M. C. Ratnayake, «Enhancing Aircraft Maintenance Services: A VSM Based Case Study», *Procedia Eng.*, vol. 182, pp. 665-672, 2017.
- [18] S. Hiemstra-Van Mastrigt, R. Ottens, y P. Vink, «Identifying bottlenecks and designing ideas and solutions for improving aircraft passengers' experience during boarding and disembarking», *Appl. Ergon.*, vol. 77, n.º May 2018, pp. 16-21, 2019.
- [19] V. M. Niño Rojas, *Metodología de la Investigación*, vol. 23, n.º 2. Bogotá DC: Ediciones de la U, 2011.
- [20] D. C. Ortiz, «Implementación lean manufacturing en procesos aeronáuticos», 2012.
- [21] O. L. Mantilla Celis y J. M. Sánchez García, «Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando Lean Six Sigma», *Estud. Gerenciales*, vol. 28, n.º 124, pp. 23-43, 2012.
- [22] L. -Gonzalo Emilio, M. -Natalia, y G. -Henry Helí, «Success Key Factors on Lean Manufacturing Implementation, At Some Companies Based in Colombia Fatores Chave De Sucesso Na Implementação De Fabricação Lean, Em Algumas Empresas Sede Na Colombia», vol. 1, n.º 1, 2017.
- [23] Mauricio Lefcovich, «El SISTEMA SMED», 2006.
- [24] I. Del Vigo García y J. Villanueva Castrillón, «Reducción de tiempos de fabricación con el sistema SMED», *Técnica Ind.*, n.º 279, pp. 34-41, 2009.
- [25] M. del R. Alvarez Hernandez, «Propuesta de implementación de Lean Manufacturing en el departamento de embarques y taller 21 de compañía mexicana de aviación S.A. de C.V.», p. 245, 2010.
- [26] F. E. Carbonell, «Técnica Smed. Reducción Del Tiempo Preparación Technical Smed. Preparation Time Reduction», pp. 1-11, 2013.
- [27] N. External, «Luggage IATA Chart». .
- [28] A. Terrones-Cordero, «Planeación participativa para elaborar un plan de desarrollo municipal: el caso de Acaxochitlán, Hidalgo», *Econ. Soc. y Territ.*, 2016.
- [29] I. D. L. Villalobos y J. R. Salcedo, «Análisis energético de la sostenibilidad ambiental del municipio de Palmira (Colombia)», *Rev. Investig. Agrar. y Ambient.*, vol. 4 N°2, pp. 67-96, 2013.
- [30] O. Omogbai y K. Salonitis, «Manufacturing System Lean Improvement Design Using Discrete Event Simulation», *Procedia CIRP*, vol. 57, pp. 195-200, 2016.