

Analysis and Improvement of the Baggage System at Cajamarca Airport Using ProModel Software

Colque-Colque Karla Luana¹; Fernandez-Cusquisiban Giannina Grisel²; Piedra-Cabanillas Fanny Emelina³

^{1,3}Universidad Privada del Norte, Perú, n00327773@upn.pe, n00321388@upn.pe, fanny.piedra@upn.edu.pe

Abstract– *The purpose of this pre-experimental study was to analyze and improve the baggage management system by incorporating technological tools into the improvement proposal, with the aim of speeding up the process of selecting and loading luggage at Cajamarca's Armando Revoredo Iglesias Airport. A diagnosis of the initial situation was carried out to obtain the data necessary for the design of the proposal, using methods such as Monte Carlo simulation and queueing theory. The simulation was developed using ProModel software, incorporating a conveyor belt system and an automated sorter. As a result, there was a 43.53% reduction in average waiting time and a 36.36% reduction in the number of passengers in line compared to the initial scenario.*

Keywords-- *Simulation, ProModel, airport, waiting times, lines, inventory management, Monte Carlo, queueing theory. List at most 5 key index terms here.*

Análisis y Mejora del sistema de equipaje en el Aeropuerto de Cajamarca utilizando el software ProModel

Colque-Colque Karla Luana¹; Fernandez-Cusquisiban Giannina Grisel²; Piedra-Cabanillas Fanny Emelina³

^{1,3}Universidad Privada del Norte, Perú, n00327773@upn.pe, n00321388@upn.pe, fanny.piedra@upn.edu.pe

Resumen– El presente estudio preexperimental tuvo como finalidad analizar y mejorar el sistema de gestión de equipaje mediante la incorporación de herramientas tecnológicas integradas en la propuesta de mejora, se buscó acelerar el proceso de selección y embarque de las maletas dentro del aeropuerto de Cajamarca “Armando Revoredo Iglesias”. Se ejecutó un diagnóstico de la situación inicial que permitió obtener los datos necesarios para el diseño de la propuesta, empleando métodos como la simulación Monte Carlo y la teoría de colas; la simulación se desarrolló en el software ProModel, incorporando un sistema de fajas transportadoras y un clasificador automatizado. Como resultado, se alcanzó una reducción del 43,53% en el tiempo promedio de espera y del 36,36% en el número de pasajeros en cola respecto al escenario inicial.

Palabras clave: Simulación, ProModel, aeropuerto, esperas, colas, gestión de inventarios, Monte Carlo, teoría de colas.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha registrado que alrededor de un millón de personas visitan el aeropuerto, tomando vuelos por diversos motivos, tales como asuntos familiares, laborales, vacaciones, entre otros; en este contexto la gestión del sistema de equipaje en la aviación comercial se convierte en un factor crítico que influye directamente en la eficiencia operativa y la competitividad de los aeropuertos. Frente al crecimiento sostenido del tráfico aéreo, las deficiencias de este proceso generan importantes problemas como la pérdida de equipaje, retraso en los vuelos y costos operativos elevados, lo que afecta indirectamente la experiencia del pasajero. Según la ref [1], la eficiencia operativa y la calidad del servicio son los principales factores que determinan la competitividad de los aeropuertos peruanos, el estudio destaca deficiencias en el manejo de equipaje y en la infraestructura limitada de las terminales, aspectos críticos que requieren atención prioritaria. Desde la perspectiva del pasajero, la satisfacción está estrechamente relacionada con la calidad del servicio y el valor percibido, como se evidencia en el estudio de la ref [2].

Una gestión eficiente que minimice los problemas relacionados con el equipaje y cumpla con las expectativas del cliente es esencial para garantizar una experiencia positiva. Desde otro enfoque, el estudio de la ref [3] reafirma que la eficiencia aeroportuaria no solo es una cuestión de servicio, sino también una necesidad económica, ya que una gestión

ineficiente se traduce en mayores costos y una reducción de la competitividad.

En el ámbito nacional, específicamente en el Aeropuerto Mayor General FAP Armando Revoredo Iglesias de Cajamarca, la necesidad de modernización resulta evidente, según reportes periodísticos, se ha anunciado una inversión significativa destinada a la ampliación del terminal de pasajeros, con el objetivo de incrementar el flujo de usuarios y mejorar los niveles de servicio [4 y 5]. Esto evidencia la urgencia de modernizar la infraestructura aeroportuaria para hacer frente al crecimiento del tráfico de pasajeros en la ciudad.

En la ref [6] afirmaron que el retraso de vuelos es uno de los problemas que se presenta con mayor frecuencia en el ámbito aeroportuario, este inconveniente afecta significativamente las operaciones de las aerolíneas, y genera altos niveles de insatisfacción entre los pasajeros. En esta misma línea, en la ref [7] señalaron que uno de los factores directamente asociados a este problema es la duración de las operaciones de carga de equipaje y cierre de puertas, ya que el despegue de una aeronave no puede efectuarse hasta que todas las maletas estén correctamente almacenadas en la bodega.

Frente a esta situación, investigaciones como en la ref [8] propusieron la incorporación de herramientas digitales y técnicas de simulación en la gestión de equipajes, lo cual permitió reducir sustancialmente la carga laboral manual y aumentar los niveles de seguridad. Por su parte, la ref [9] demostraron que el modelado de los procesos logísticos vinculados al traslado de equipajes dentro de los aeropuertos es fundamental para identificar oportunidades de mejora; su estudio abarcó desde la recepción y clasificación, hasta el transporte y la estiba en bodega, y el modelo de simulación desarrollado brindó una representación realista y detallada de dichos procesos, facilitando el análisis de propuestas orientadas a mejorar la fluidez y la capacidad del sistema.

Asimismo, los autores destacaron que herramientas como PLM Plant Simulation aceleran los procesos aeroportuarios gracias a su enfoque en la simulación tridimensional de procesos logísticos, este software presenta funcionalidades más avanzadas en comparación con ProModel, especialmente

en cuanto a la integración de modelos 3D y la optimización automática de flujos logísticos, aunque ambos simuladores permiten modelar este tipo de sistemas de manera efectiva.

Los autores de la ref [10] evidenciaron que ProModel es una herramienta eficaz para la programación de modelos orientados a sistemas de manufactura y servicios, además, destacaron que su interfaz resulta comprensible y accesible para los programadores, permitiendo analizar posibles cambios dentro del sistema al modificar variables como máquinas, mano de obra, rutas o clasificación, y estimar resultados sin intervenir en el proceso real. Por su parte, en la ref [11] señalaron que otra herramienta de simulación factible para la generación de posibles entradas al sistema es el método Monte Carlo, ya que no evoluciona con el tiempo, sino a partir de datos históricos extraídos de bases de datos.

Según ref [12] y ref [13], la simulación de Monte Carlo es una técnica que abordó las incertidumbres en modelos determinísticos al tratar algunas variables de entrada como aleatorias asignándoles un comportamiento probabilístico, obteniendo múltiples resultados de variable de salida; su naturaleza estocástica lo convirtió en una herramienta esencial en el diagnóstico y análisis de procesos con variables inciertas. De manera similar, la ref [14], señalaron que la aplicación de modelos probabilísticos resultó ser efectiva para la toma de decisiones, basándose en datos de tiempo de servicio y acceso, como es el caso de la teoría de colas, la cual ayuda a reducir tiempos y asignar recurso en las áreas analizadas.

El aeropuerto “Armando Revoredo Iglesias”, ubicado en la ciudad de Cajamarca, enfrenta serias dificultades en la gestión de su sistema de equipaje. Esta situación ha generado no solo altos niveles de insatisfacción entre los pasajeros, sino también retrasos en los vuelos y pérdida de maletas, lo cual evidencia una falta de automatización en el proceso de manejo de equipaje. Actualmente, dicho proceso se realiza de manera manual, desde los mostradores hasta la bodega del avión, lo que reduce significativamente la eficiencia operativa al incrementar los tiempos de carga, el riesgo de errores y la dependencia de la mano de obra. Esta situación limita la competitividad del aeropuerto, al obstaculizar el cumplimiento de estándares de puntualidad, la atención a un mayor volumen de pasajeros y la prestación de un servicio comparable al de terminales aéreos más modernos.

Frente a este escenario, se identificó la necesidad de analizar y mejorar el sistema de equipaje mediante herramientas de simulación discreta, que permitan evaluar propuestas sin alterar las operaciones reales. En este contexto, ProModel se presenta como una de las opciones más adecuadas para modelar el proceso logístico, identificar cuellos de botella y estimar el impacto de diferentes escenarios de mejora. El desarrollo de la simulación respalda un escenario propuesto de modernización del sistema de equipaje, mediante la incorporación de fajas transportadoras y mecanismos de clasificación automatizados, lo cual

contribuirá a reducir los tiempos de arribo de las maletas, mejorar la fluidez del proceso y minimizar pérdidas o daños al equipaje. Asimismo, se incorporará el método Monte Carlo para fortalecer el diagnóstico y análisis de datos, permitiendo generar variables de entrada más precisas para el modelo de simulación desarrollado en ProModel.

Teniendo en cuenta que un modelo de simulación no optimiza, sino que permite evaluar el impacto de diversas propuestas, ofreciendo una base para la toma de decisiones de mejora, se plantea la pregunta de investigación: ¿De qué manera el software ProModel contribuye al análisis y mejora del sistema de equipaje en el aeropuerto “Armando Revoredo Iglesias”? Para responder esta pregunta se formula el siguiente objetivo general: Aplicar el software ProModel para el análisis y la mejora del sistema de equipaje en el aeropuerto “Armando Revoredo Iglesias”. Igualmente se proponen los objetivos específicos:

1. Diagnosticar el sistema actual de equipaje dentro del aeropuerto de Cajamarca.
2. Aplicar el software ProModel en la simulación de implementación de fajas transportadoras y la clasificación de maletas desde mostradores hasta la bodega del avión, obteniendo la mejora del proceso de equipaje y la reducción del tiempo de embarque.
3. Comparar la propuesta de mejora con la situación actual del aeropuerto de Cajamarca a través del software ProModel, considerando indicadores como tiempos de procesamiento y número de maletas arribadas.

II. METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque preexperimental, con el objetivo de analizar y optimizar el sistema de gestión de equipaje del Aeropuerto “Armando Revoredo Iglesias”, ubicado en la ciudad de Cajamarca. El estudio se orientó a reducir significativamente el tiempo total de procesamiento y a mejorar el flujo logístico de las maletas, factores determinantes para mitigar los retrasos en las operaciones de vuelo. La propuesta metodológica se fundamentó en la simulación Monte Carlo, la teoría de colas y el uso del software ProModel como herramienta principal de modelado y análisis.

En la primera etapa, se realizó el diagnóstico del sistema actual de manejo de equipaje mediante la observación directa de las operaciones en el aeropuerto; los datos recolectados fueron organizados en matrices de Excel, considerando variables como tiempos de servicio, tipología de pasajeros y equipajes, y tiempos de interllegada. Posteriormente, la información fue procesada a través de la simulación Monte Carlo, lo que permitió estimar los porcentajes de distribución de pasajeros por aerolínea, los tiempos promedio de llegada y la media del servicio.

Con estos parámetros, se procedió a la aplicación de la teoría de colas, la cual, a partir de diez observaciones

experimentales, permitió calcular indicadores teóricos como el tiempo promedio de espera en cola, evidenciando la necesidad de automatizar y rediseñar el sistema de equipaje. Finalmente, se elaboró un flujograma operativo que representa de forma precisa el proceso actual y sirve como base para el desarrollo del modelo simulado propuesto. (observar figura 1: Diagnóstico de la frecuencia de llegada del equipaje de bodega)

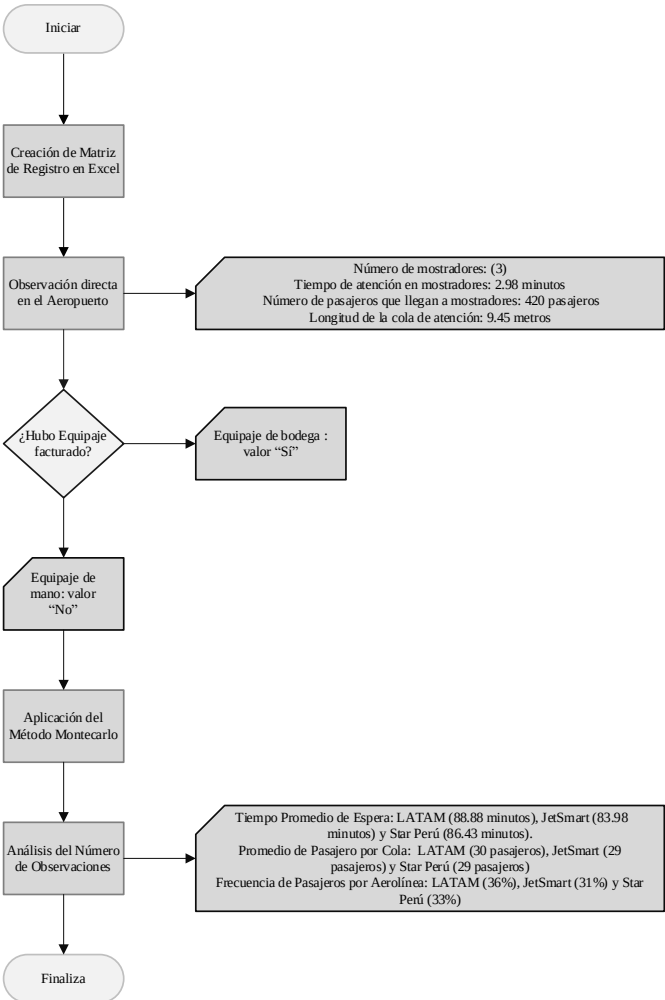


Fig. 1 Diagnóstico de la frecuencia de llegada del equipaje de bodega.

A continuación, se llevó a cabo el modelado y diseño de la propuesta de mejora utilizando el software ProModel. De acuerdo con [9], esta herramienta permite simular diversos tipos de sistemas, tanto de manufactura como de servicios, facilitando el análisis de su desempeño bajo diferentes condiciones operativas. Una vez desarrollados los escenarios actual y propuesto, el modelo permitió manipular y ajustar las variables del sistema con el fin de determinar los parámetros críticos de desempeño.

La simulación se centró en sustituir gran parte de las actividades manuales por un sistema automatizado de fajas

transportadoras, orientado a optimizar la manipulación del equipaje. Para ello, se definieron y diseñaron las áreas físicas involucradas en el proceso, denominadas locaciones dentro del entorno de ProModel, representando con precisión los puntos de entrada, procesamiento y salida del sistema de equipaje. (ver tabla 1: Definición de las locaciones)

TABLA I
DEFINICIÓN DE LAS LOCACIONES

Nombre	Capacidad	Unidades	Estadísticas	Reglas
Mostrador_Latam1	1	1	Series de Tiempo	Más Tiempo
Mostrador_Latam2	1	1	Series de Tiempo	Más Tiempo
Mostrador_JetSmart1	1	1	Series de Tiempo	Más Tiempo
Mostrador_JetSmart2	1	1	Series de Tiempo	Más Tiempo
Mostrador_StarPerú1	1	1	Series de Tiempo	Más Tiempo
Mostrador_StarPerú2	1	1	Series de Tiempo	Más Tiempo
BANDA	INFINITE	1	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO
Register	1	1	Series de Tiempo	Más Tiempo
Banda_Latam	INFINITE	1	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO
Banda_JetSmart	INFINITE	1	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO
Banda_StarPeru	INFINITE	1	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO
Cola_LATAM	INFINITE	1	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO
Cola_JetSmart	INFINITE	1	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO
Cola_StarPerú	INFINITE	1	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO
Avión_Latam	1	1	Series de Tiempo	Más Tiempo
Avión_JetSmart	1	1	Series de Tiempo	Más Tiempo
Avión_StarPerú	1	1	Series de Tiempo	Más Tiempo

Asimismo, se determinó las entidades que circularon por el sistema: Pasajero (la entidad que llega) y Maletas (entidad que es trasformada para ser procesada y contabilizada). (ver tabla 2: Determinación de las entidades)

TABLA II
DETERMINACIÓN DE LAS ENTIDADES

Nombre	Velocidad (mpm)	Estadísticas
Pasajero	50	Series de Tiempo
Pasajero equipaje de bodega	50	Series de Tiempo
Pasajero equipaje de bodega_2	50	Series de Tiempo
Maleta_Latam	10	Series de Tiempo
Maleta_JetSmart	10	Series de Tiempo
Maleta_StarPeru	10	Series de Tiempo
MALETAS	10	Series de Tiempo

A su vez, se diseñaron las distribuciones de usuarios utilizando los porcentajes obtenidos de la simulación de Monte Carlo en conjunto con la teoría de colas. Los tres primeros valores (1, 2,3) representaron las aerolíneas Latam, JetSmart y Star Perú, respectivamente, mientras que los valores siguientes (a,b,x,y,l,m) correspondieron al número de mostradores destinados a la atención de los pasajeros. (véase *tabla 3: Diseño de las distribuciones de usuario*)

TABLA III
DISEÑO DE LAS DISTRIBUCIONES DE USUARIO

ID	Tipo	Porcentaje	Valor
T_MALETA_VUELO	Discreta	36%	1
		30%	2
		34%	3
T_PASAJERO_LATAM	Discreta	69%	a
		31%	b
T_PASAJERO_JETSMART	Discreta	78%	x
		22%	y
T_PASAJERO_STARPERU	Discreta	65%	l
		35%	m

En esa misma línea se diseñaron atributos con valores específicos para identificar el destino de cada entidad dentro del proceso. (*observar tabla 4: Diseño de los atributos*)

TABLA IV
DISEÑO DE LOS ATRIBUTOS

ID	Tipo	Clasificación
Tipo_de_Aerolínea	Integer	Ent
Tipo_de_Pasajero	Integer	Ent

Finalmente, en la etapa de procesamiento se implementó el flujo lógico en la locación mostradores: el pasajero generaba “Maleta”, realiza la transferencia de atributos e inmediatamente la maleta se envía a la banda, para un mejor enrutamiento se utilizó la lógica: If, criterio de enrutamiento: “Then” y criterio alternativo: “Else” hacia el Avión correcto, complementando el proceso de clasificación automatizada. Por último, los tiempos de procesamiento fueron ajustados a valores mínimos para reflejar la velocidad de la automatización propuesta. (*ver tabla V: Procesamiento a detalle del modelo de simulación y figura 2: Layout de la propuesta de mejora*).

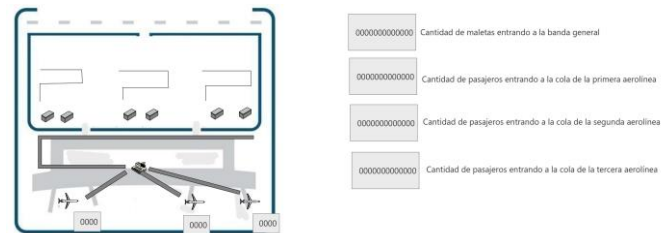


Fig. 2 Layout de la propuesta de mejora.

TABLA V
PROCESAMIENTO A DETALLE DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Entidad	Locación	Salida	Destino
Pasajero	Cola_LATAM	Pasajero equipaje de bodega	Mostrador _Latam1
		Pasajero equipaje de bodega_2	Mostrador _Latam2
Pasajero equipaje de bodega	Mostrador _Latam1	MALETAS	BANDA
Pasajero equipaje de bodega_2	Mostrador _Latam2	MALETAS	BANDA
Pasajero	Cola_JetSmart	Pasajero equipaje de bodega	Mostrador _JetSmart1
		Pasajero equipaje de bodega_2	Mostrador _JetSmart2
Pasajero equipaje de bodega	Mostrador _JetSmart1	MALETAS	BANDA
Pasajero equipaje de bodega_2	Mostrador _JetSmart2	MALETAS	BANDA
Pasajero	Cola_StarPerú	Pasajero equipaje de bodega	Mostrador _StarPerú1
		Pasajero equipaje de bodega_2	Mostrador _StarPerú2
Pasajero equipaje de bodega	Mostrador _StarPerú1	MALETAS	BANDA
Pasajero equipaje de bodega_2	Mostrador _StarPerú2	MALETAS	BANDA
MALETAS	BANDA	MALETAS	Register
MALETAS	Register	Maleta _Latam	Banda _Latam
		Maleta _JetSmart	Banda _JetSmart
		Maleta _StarPerú	Banda _StarPerú
Maleta _Latam	Banda _Latam	Maleta _Latam	Avión _Latam
Maleta _JetSmart	Banda _JetSmart	Maleta _JetSmart	Avión _JetSmart
Maleta _StarPerú	Banda _StarPeru	Maleta _StarPerú	Avión _StarPerú
Maleta _Latam	Avión _Latam	Maleta _Latam	EXIT
Maleta _JetSmart	Avión _JetSmart	Maleta _JetSmart	EXIT
Maleta _StarPerú	Avión _StarPeru	Maleta _StarPerú	EXIT

III. RESULTADOS

3.1 Estado actual del aeropuerto y diagnóstico

El diagnóstico realizado mediante la simulación Monte Carlo, teoría de colas y la observación directa permitió evidenciar que el aeropuerto “Armando Revoredo Iglesias” presentó una alta afluencia de pasajeros, especialmente cuando se acerca el horario de embarque, con una interllegada de 0,57 minutos entre cada uno; se observó que un solo mostrador estaba atendiendo por aerolínea, el cual registró un tiempo promedio de atención de 2,98 minutos por pasajero, lo cual resultó insuficiente para atender de manera eficiente la demanda existente.

Como consecuencia los pasajeros esperaron en promedio 86,26 minutos y se registró un promedio de 29 personas en la cola de embarque (*observar tabla 6: Promedio de tiempo de espera y número de pasajeros en cola por aerolínea*).

TABLA VI
PROMEDIO DE TIEMPO DE ESPERA Y NÚMERO DE PASAJEROS EN COLA POR AEROLÍNEA

Aerolínea	Tiempo promedio de espera (min)	Número de pasajeros promedio en cola
Latam	88,68	30
JetSmart	83,98	29
Star Perú	86,43	29

Además, se determinó que las maletas eran transportadas manualmente por un operario hasta el área de selección de maletas para ser trasladadas a la bodega del avión, proceso que demandaba aproximadamente cinco minutos por maleta; asimismo, se identificó que en las tres compañías aéreas cerca del 70% de todos los pasajeros transportaban equipaje de bodega, lo que incrementó la carga operativa y el tiempo total del proceso. (*divisar tabla 7: Cantidad y porcentaje de pasajeros con y sin maleta de bodega*).

TABLA VII
CANTIDAD Y PORCENTAJE DE PASAJEROS CON Y SIN MALETA DE BODEGA

Lleva maleta de bodega	Latam		JetSmart		Star Perú		Total	
Sí	103	69%	102	78%	91	65%	296	70%
No	47	31%	28	22%	49	49%	124	30%

3.2 Propuesta de mejora y resultados

A partir del diagnóstico del sistema actual, se identificaron valores elevados tanto en el tiempo de espera como en la cantidad de pasajeros en cola; ante esta situación, se planteó una propuesta de mejora orientada a lograr un sistema de gestión de equipaje más automatizado y eficiente.

La simulación desarrollada en el software ProModel consideró la incorporación de dos mostradores por aerolínea, bandas transportadoras y un clasificador automatizado; los resultados obtenidos evidenciaron una disminución significativa en los tiempos de espera y en la longitud de las colas de atención. (*véase tabla 8: Cantidad de personas en cola de espera por aerolínea después de la propuesta de mejora*)

TABLA VIII

CANTIDAD DE PERSONAS EN COLA DE ESPERA POR AEROLÍNEA DESPUÉS DE LA PROPUESTA DE MEJORA

Aerolínea	Tiempo promedio de espera (min)	Número de pasajeros promedio en cola
Latam	51,35	20
JetSmart	36,67	14
Star Perú	58,28	22

3.3 Comparación antes y después

Según los datos obtenidos en el diagnóstico inicial del aeropuerto de Cajamarca, durante las seis horas de análisis se identificaron un problema crítico en el proceso de check-in; la alta afluencia de pasajeros generó colas extensas que excedían los límites de las cintas retráctiles y un tiempo de espera mayor a una hora. Además, se constató que el traslado manual del equipaje por parte de un operario hasta el área de clasificación representaba un factor determinante en la demora general del proceso.

En contraste, la simulación realizada demostró que la alternativa propuesta resolvió de manera eficiente el problema identificado en el diagnóstico inicial; se evidenció una reducción aproximada del 33,33% en el número de pasajeros en cola en la aerolínea Latam, del 24,14% en Star Perú y 51,72% en JetSmart. Asimismo, el modelo propuesto mostró un flujo más ordenado y eficiente tanto de los pasajeros como maletas, disminuyendo del mismo modo los tiempos de espera, que se redujeron en 42,10% Latam, 32,57 para Star Perú y 56,33% para JetSmart; en consecuencia, se mejoró la fluidez operativa y la puntualidad del proceso de embarque. (*figura 3: Comparación de tiempos y pasajeros en colas de espera antes y después de la propuesta de mejora*).

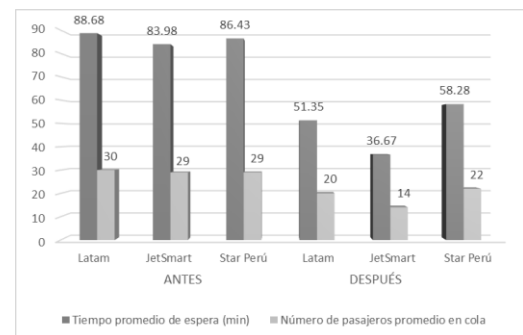


Fig. 3 Comparación de tiempos y pasajeros en colas de espera antes y después de la propuesta de mejora.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En relación a los hallazgos obtenidos, se identificó que baja eficiencia del proceso logístico de manejo de equipaje en el aeropuerto constituye uno de los principales factores que prolongan el tiempo de embarque y retrasan la salida de las aeronaves, generando insatisfacción de los clientes; este resultado coincidió con lo señalado por las ref [6] y ref [7],

quienes afirmaron que la operación de carga de equipaje y el cierre de las puertas influye significativamente en la puntualidad de las operaciones aeroportuarios, particularmente en el despegue del avión.

La simulación de la propuesta de mejora demostró ser efectiva, evidenciando una propuesta más tecnológica mediante la incorporación de fajas transportadoras y el incremento de mostradores de check-in por aerolínea, esta simulación permitió mejorar el flujo logístico de las maletas, garantizando que las maletas lleguen oportunamente a las bodegas del avión correspondiente. Como resultado se redujo el tiempo promedio de espera en un 43,53% y el número de pasajeros en las colas en un 36,36%. Estos resultados coincidieron con lo expuesto por las ref [8] y ref [9], quienes resaltaron que el uso de herramientas tecnológicas y la simulación permiten desarrollar una propuesta más precisa y realista.

No obstante, se evidenció que la eficiencia del modelo no dependió exclusivamente del uso de representaciones tridimensionales como propuso la ref [9], en este estudio, el uso del software ProModel resultó una herramienta práctica y de igual de eficiencia, coincidiendo con las observaciones de la ref [10], quienes destacaron su accesibilidad y versatilidad en rubros de servicio.

Asimismo, en concordancia con lo planteado por las ref [11] y ref [13], se determinó que ProModel no fue la única herramienta de simulación que contribuyó al desarrollo de la propuesta de mejora, la aplicación complementaria de la matriz de Monte Carlo y la teoría de colas permitió obtener datos basados en información histórica y probabilística, fortaleciendo la validez de los resultados, dichas metodologías facilitaron una representación más realista del sistema aeroportuario de la ciudad de Cajamarca.

En la propuesta de mejora, se definió que la única tipología de pasajeros es la que se dirigen a los mostradores 1 y 2, por la cual se determinó bajo el criterio de disponibilidad inmediata, utilizando lógica de enrutamiento en ProModel para asignar la entidad al primer punto disponible. Esta perspectiva enfocada exclusivamente en los mostradores permitió optimizar el flujo operativo y agilizar la transferencia de equipaje hacia la banda transportadora sin requerir segmentaciones adicionales en la demanda.

Según la ref [15], la implementación del sistema automatizado propuesto resulta viable desde el punto de vista económico e infraestructura, considerando el proceso de modernización actualmente impulsado en el Aeropuerto Internacional Armando Revoredo Iglesias de Cajamarca. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones viene desarrollando la rehabilitación integral de la pista de aterrizaje con una inversión superior a USD 100 millones, así como la optimización del cerco perimétrico y mejoras en el lado aire del aeropuerto. Asimismo, se proyecta una inversión aproximada de USD 40 millones para la mejora del terminal de pasajeros y un plan de modernización integral que alcanzaría los USD 311 millones.

En este contexto, la incorporación del sistema automatizado propuesto no requiere modificaciones estructurales significativas y puede implementarse de forma modular dentro del área disponible del terminal. Por lo tanto, la propuesta es viable tanto desde el punto de vista económico como de infraestructura, alineándose con el proceso de modernización previsto para el aeropuerto de Cajamarca.

V. CONCLUSIONES

En síntesis, la aplicación de ProModel permitió validar que la transición a un sistema automatizado es el enfoque más técnico para mejorar la gestión del equipaje en el Aeropuerto Armando Revoredo Iglesias. El diagnóstico inicial del procedimiento manual corroboró una operatividad crítica, con periodos de espera de hasta 88 minutos que resultan insostenibles ante el incremento proyectado de la demanda, estos indicadores iniciales destacan la necesidad de actualizar la infraestructura usando herramientas de simulación para mejorar los estándares de servicio del aeropuerto local.

De este modo, el modelo de simulación de ProModel, resulta ser una eficiente propuesta de mejora que integra un sistema de faja transportadoras y un clasificador automatizado, dicho modelo arrojó resultados concluyentes, indicando que la implementación de esta solución logra reducir significativamente el tiempo promedio de espera, ubicándolo en un rango de 36 a 58 minutos; esta reducción permitiría el aeropuerto alcanzar estándares de servicio más competitivos, mejorando la experiencia del usuario y la capacidad operativa general.

La comparación entre la situación actual y propuesta de mejora realizada evidenció que la alternativa diseñada generó mejoras significativas en los indicadores operativos, los resultados mostraron reducciones notables en la cantidad de pasajeros en la cola, 33,33% en Latam, 24,14% en Star Perú y 51,72% en JetSmart como en los tiempos de espera 42,10%, 32,57 y 56,33% respectivamente; lo que evidenció la eficacia del modelo propuesto frente a la situación inicial. El análisis comparativo confirmó que la simulación del sistema automatizado fortaleció el procesamiento del equipaje y ordenó el flujo operativo cumpliendo con el objetivo específico planteado.

Finalmente, como recomendaciones para futuros trabajos, se plantea realizar un análisis técnico del tiempo de descarga la bodega del avión hasta la zona de reclamo de equipaje; se considera que esta es la vía más factible de lograr una optimización logística completa que garantice la efectividad del sistema en cada fase del tránsito de las maletas. Facilitando la disminución de los tiempos totales de viaje y el mejoramiento significativo de la experiencia del usuario final al llegar a su destino aéreo correspondiente.

REFERENCIAS

- [1] Repositorio UP [Internet]. Handle.net. 2025 [cited 2025 Dec 17]. Available from: <https://hdl.handle.net/11354/3965>
- [2] Talledo C, Carolina K, Correa V, Milagros L. Available from: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/669535/Castillo_TK.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [3] Felipe S. A eficiência aeroportuária brasileira sob a ótica de Modelos DEA em redes considerando interações estratégicas. Ufgedubr [Internet]. 2017 [cited 2025 Dec 17]; Available from: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/33971>
- [4] Redacción EC. Ampliación aeropuerto de Cajamarca: el 28 de octubre firmarán contrato para elaborar expediente técnico [Internet]. El Comercio Perú. 2021 [cited 2025 Dec 17]. Available from: https://elcomercio.pe/economia/peru/ampliacion-del-aeropuerto-de-cajamarca-el-28-de-octubre-firmaran-contrato-para-elaborar-expediente-tecnico-nndc-noticia/#google_vignette
- [5] Ampliación del aeropuerto de Cajamarca: firmarán contrato para elaborar expediente técnico [Internet]. Elperuano.pe. 2025 [cited 2025 Dec 17]. Available from: <https://www.elperuano.pe/noticia/132001-ampliacion-del-aeropuerto-de-cajamarca-firmaran-contrato-para-elaborar-expediente-tecnico>
- [6] Rajarajeswari P, Kumari PLS, Lakshmi AS, Muguthan SR, Kumar PR, Ananthula PR. Simulation based Predictive analysis of Indian Airport transportation system using Computational intelligence techniques. J Aerosp Technol Manag [Internet]. 2023;15(e1123). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/jatm.v15.1300>
- [7] Ding Q, Ma L, Cui Y, Cheng B, He X. Identification and analysis of flight delay based on process relevance. Aerospace [Internet]. 2024;11(6):445. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/aerospace11060445>
- [8] Fay B, Ramasubramanian AK, Murphy RD, Adderley T, Papakostas N. Using a process simulation platform for reviewing automated airport baggage handling system configurations. Procedia CIRP [Internet]. 2022;112:180–5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2022.09.069>
- [9] Tymofii V, Hovanec M, Korba P, Al-Rabeei S, Vencel M. Simulation model of logistics processes for baggage handling at airports. En: 2024 New Trends in Aviation Development (NTAD). IEEE; 2024. p. 194–9.
- [10] Septiani W, Divia GA, Adisuwiry S. Warehouse Layout Designing of Cable Manufacturing Company using Dedicated Storage and Simulation Promodel. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [Internet]. 2020 [citado el 17 de diciembre de 2025];847(12th). Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/847/1/012054/meta>
- [11] Santos LJT, Moreira MÂL, de Araújo Costa IP, dos Santos M, da Silva RF. Monte Carlo simulation applied for the identification of arrival and departure constraints at the são Paulo international airport, Brazil. En: Industrial Engineering and Operations Management. Cham: Springer Nature Switzerland; 2023. p. 163–72.
- [12] Medinaceli Tórrez R, Medinaceli Ortiz R. Aplicación de la simulación de Montecarlo a la evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en roca. REV MAMYM [Internet]. 2021 [citado el 17 de diciembre de 2025];6(1):33–47. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522021000100004&script=sci_arttext
- [13] Robalino-Latorre MC, Ramirez-Klinger WN, Guadalupe-Copa RC, Cuello-García SA. Aplicación del Método Montecarlo en flujo de potencias a través del Software Octave. Journal of Economic and Social Science Research [Internet]. 2023;3(1):31–47. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n1/60>
- [14] Burbano-Pantoja VMÁ, Valdivieso-Miranda MA, Burbano-Valdivieso ÁS. Teoría de colas en la práctica investigativa: generación de modelos probabilísticos para líneas de espera. Rev Investig Desarro Innov [Internet]. 2024;14(2):9–24. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.19053/uprc.20278306.v14.n2.2024.17811>
- [15] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). MTC impulsa la rehabilitación de la pista del aeropuerto de Cajamarca para mejorar la seguridad y eficiencia aérea [Internet]. Lima: Gobierno del Perú; 2025 nov 22 [citado 2026 abr 26]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/1294968-mtc-impulsa-la-rehabilitacion-de-la-pista-del-aeropuerto-de-cajamarca-para-mejorar-la-seguridad-y-eficiencia-aerea>