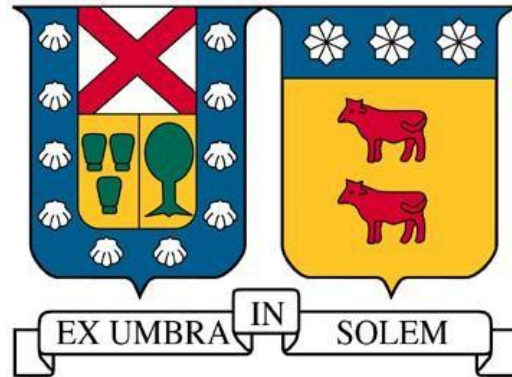


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AERONÁUTICAS

SANTIAGO - CHILE



PROPUESTA DE FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE TAGUCHI PARA LÍNEAS AÉREAS SUDAMERICANAS.

GIANFRANCO ALESSANDRO FORTUNATO ALVARADO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUÍA:
CORREFERENTE:

SR. VICTOR POBLETE.
SR. MARTINUS POTTERS.

Julio 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: PROPUESTA DE FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE TAGUCHI PARA LÍNEAS AÉREAS SUDAMERICANAS.

Nombre del candidato(a): Gianfranco Alessandro Fortunato Alvarado.

Carrera / Grado: Ingeniería en Aviación Comercial.

Campus: Santiago Vitacura ; Departamento: Departamento de ciencias aeronáuticas.

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Víctor Poblete, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 02/07/2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 02/07/2025

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos.

En primer lugar, el agradecimiento es a mis padres, Giuseppe y Pamela, por haberme entregado una educación íntegra, no solo académica, sino que, como persona, siendo un apoyo incondicional durante mis estudios básicos y la universidad, donde me apoyaron a establecer metas altas brindándome el carácter para buscar soluciones a los problemas, no estancarse en ellos.

En segundo lugar, agradecerle a mi hermana Colomba por haberme dado alegría con sus locuras y sacándome del estrés durante todos los años de carrera.

Gracias a todos mis amigos que fueron parte del proceso universitario, en especial a mi compañero y hermano Felipe Sepúlveda junto a Patricio Lizana, los cuales me entregaron apoyo, ganas e ideas para la realización de la memoria.

Para finalizar, a don Víctor Poblete, el con el cual realizamos el trabajo y que sufrió cambios de tema junto a un sinfín de trabas, no obstante, siempre conto con una gran disposición junto a su espíritu de enseñar, genero un grato ambiente, muchas gracias.

Resumen ejecutivo.

La aerolínea LATAM Airlines, presenta una oportunidad de mejora, ya que no se cuenta con una metodología estandarizada para los proyectos de mejora continua en el área operacional, esto implica que cada vez que se detecta un quiebre en los procesos, deben aprender y evaluar cada arista del proceso, algo que se podría estandarizar con una unidad de medida que aguas abajo se desarrollara con la herramienta propuesta por Taguchi, la función de perdida, con esta proponemos una forma de cuantificar cuanto representa el valor de un minuto de atraso para la aerolínea.

Teniendo esto en consideración, se puede implementar una forma estandariza para el área operacional con la cual detectar los costos asociados a dichos minutos de atraso, siendo un símil para el *Net Promoter Score* (NPS) que es una forma de medir la lealtad de los clientes y su disposición a recomendar una empresa o producto a otros, indicador clave para el área de calidad y sobre el que se trabajan sus proyectos de mejora continua.

En el segundo capítulo se recopilarn los datos necesarios para la construcción del modelo, donde serán necesarios los costos operacionales y por asiento-kilometro, junto a la composición de la flota.

Con esto se construirán los parámetros necesarios de la función de perdida para las flotas Narrow Body y Wide Body, que se separan debido a sus naturalezas operacionales, una vez construida, se estimara la función para el año 2025, para luego ser validar su robustes con un primer filtro que son las gráficas de evolución, posterior a esta validación se propondrá un diagrama de Ishikawa para revisar posibles aristas a revisar en caso de estar fuera de los parámetros necesarios, finalizando se comparara el indicador con el resto de aerolíneas que compiten con LATAM Airlines en el mercado sudamericano para terminar de validar la robustez del modelo, como último paso se realizara un caso aplicado para aterrizar el significado de los valores junto a clarificar la oportunidad de mejora que representaría. Donde los valores calculados para el costo por minuto al año 2024 para la flota *Narrow Body* fue de 184,799 $\frac{[US \$]}{min}$ y para la flota *Wide Body* de 308,801 $\frac{[US \$]}{min}$, adicionalmente sus estimaciones para el año 2025 son de 218,16 $\frac{[US \$]}{min}$ y 363,40 $\frac{[US \$]}{min}$ respectivamente.

Abstract.

LATAM Airlines presents an opportunity for improvement, as there is no standardized methodology for continuous improvement projects in the operational area. This means that every time a process breakdown is detected, they must learn and evaluate each aspect of the process. This could be standardized with a unit of measurement developed downstream using the tool proposed by Taguchi, the loss function. With this, we propose a way to quantify the value of one minute delay for the airline.

With this in mind, a standardized method can be implemented for the operational area to detect the costs associated with these minutes of delay. This is similar to the *Net Promoter Score* (NPS), a way of measuring customer loyalty and their willingness to recommend a company or product to others. This is a key indicator for the quality area and the basis for its continuous improvement projects.

In the second chapter, the necessary data for model construction will be collected, including operational costs and seat-kilometer costs, along with fleet composition.

This will allow for the construction of the necessary loss function parameters for the Narrow Body and Wide Body fleets, which are separated due to their operational natures. Once constructed, the function will be estimated for the year 2025, and then its robustness will be validated using evolutive graphs as a first filter. Following this validation, an Ishikawa diagram will be proposed to review possible edges that should be revised if they fall outside the necessary parameters. Finally, the indicator will be compared with the rest of the airlines that compete with LATAM Airlines in the South American market to further validate the robustness of the model. As a final step, an applied case will be conducted to ground the meaning of the values and clarify the opportunity for improvement it would represent. Where the calculated values for the cost per minute in 2024 for the *Narrow Body* fleet was 184,799 $\frac{[US \$]}{min}$, and for the *Wide Body* fleet 308,801 $\frac{[US \$]}{min}$, additionally their estimates for the year 2025 are 218.16 $\frac{[US \$]}{min}$, and 363.40 $\frac{[US \$]}{min}$, respectively.

Glosario

Ato: Aeropuerto.

Departur: Salida o despacho de aeronave al momento de cerrar puertas.

Arrival: Llegada de aeronave a posición para el desembarque de pasajeros.

Peak: Valor histórico más alto o bajo de una secuencia de tiempo.

SERNAC: Servicio Nacional del Consumidor.

No show: Es cuando un pasajero con boleto no se presenta al vuelo.

Overbooking: Se refiere a la práctica de las aerolíneas de vender más billetes para un vuelo de lo que hay asientos disponibles.

Joint venture: Acuerdo comercial entre dos o más aerolíneas para operar un proyecto específico, como rutas conjuntas.

JAC: Junta Aeronáutica Civil.

CIRIUM: Empresa que proporciona datos y análisis de aviación a diversas partes interesadas de la industria.

Wide Body: Aeronave de pasajeros con un fuselaje lo suficientemente ancho como para acomodar dos pasillos de asientos.

Narrow Body: Es un tipo de avión de pasajeros que tiene un solo pasillo que recorre la cabina.

Load Factor: Es la cantidad de asientos ocupados en el avión, comúnmente en porcentaje.

Introducción.

LATAM Airlines es una de las aerolíneas líderes en el mercado sudamericano junto a COPA, AVIANCA, AZUL, donde luego del fuerte golpe que rezago a la industria aeronáutica y pon ende golpe a las aerolíneas, LATAM tuvo que acogerse al capítulo 11 en Estados Unidos en el año 2020, terminada las restricciones, la empresa se re-culturizó y se enfocó a la mejora continua junto a la automatización de procesos, esto con la finalidad de volver a tomar su puesto como líder en el mercado sudamericano. Teniendo esto en consideración, proponemos el uso de las funciones de pérdida, que se han estudiado durante varias décadas, utilizadas ampliamente para diversos fines, como la toma de decisiones comerciales, el control de calidad y las pruebas de confiabilidad. Las funciones de pérdida han adoptado tradicionalmente muchas formas, como el error cuadrático, el error absoluto, la pérdida ponderada y la pérdida binaria. Cada una de estas formas supone tácitamente que cuanto mayor sea el error en la estimación de los valores de los parámetros, mayor será la pérdida incurrida.

Marion Hutchinson (2007).

Por otro lado, Taguchi utilizó una función de pérdida cuadrática para motivar e ilustrar las pérdidas para la sociedad asociadas con las desviaciones del objetivo en aplicaciones industriales. Las funciones de pérdida se utilizan con frecuencia para cuantificar las pérdidas asociadas con la desviación de un objetivo deseado tanto en aplicaciones de teoría de decisiones como en entornos de control de calidad.

En la teoría de decisiones, la pérdida se define generalmente como una función no negativa de la desviación de un estimador del valor del parámetro que se va a estimar. Por ejemplo, el atraso en el itinerario de un vuelo comercial, donde cada minuto de desvío corresponde a un error dentro de la planificación del producto, teniendo en consideración límites de control establecidos anteriormente. En entornos de garantía de calidad, se utilizan funciones de pérdida para reflejar la pérdida económica asociada con la variación y las desviaciones del valor ideal de una característica del proceso.

Por ello se propondrá un modelo de la función de pérdida de Taguchi para determinar el valor de un minuto de atraso para LATAM Airlines, donde detallará el proceso para determinar los parámetros, las herramientas para generar la proyecciones en el futuro de la función, su cotejo para determinar la robustez de lo propuesto, posibles variables que indujeron al error para su revisión en una propuesta del diagrama de Ishikawa aplicado al caso junto a una validación final con los competidores del mercado sudamericano.

Tabla de contenidos

Resumen ejecutivo.....	i
Abstract	ii
Glosario	iii
Introducción.....	iv
Indicé de gráficos.....	vi
Indicé de Figuras	vii
Capítulo I.....	1
Antecedentes Generales.....	1
1.1 Justificación.....	1
1.2 Objetivo general	3
1.3 Objetivos específicos.....	3
1.4 Alcance	4
1.5 Metodología.....	5
Capítulo II.....	6
Estado del Arte.	6
2.1 Historia Latam	7
2.2 Antecedentes generales Latam.....	7
2.2.1 Servicios, Clientes, Proveedores, Competidores y Canales de Distribución de los Servicios.	9
2.2.2 Estadísticas de Entrega de Servicios.....	10
2.2.3 Organigrama de la Empresa.....	12
2.2.4 Estrategia General de la Empresa	13
2.2.5 Principales indicadores	14
2.3 Marco Teórico.	19
2.3.1 Calidad.....	20
2.3.2 Función de Taguchi	28
2.4 Casos a aplicados.....	32
2.5 Propuesta Metodológica.	34
Capítulo III.....	36
Desarrollo	36
3.1 Contexto de la organización LATAM.	36
3.1.1 Pérdida de calidad por retrasos en salida de vuelo.....	37
3.2 Construcción de parámetros.....	37

3.2.1 Función de Taguchi por flota por año WB.....	43
3.3 Creación de modelo de función de pérdida de Taguchi.....	44
3.4 Comparación del modelo de función de pérdida con indicadores de la industria aeronáutica sudamericana	49
3.5 Propuesta de implementación	52
Conclusiones.....	54
Bibliografía.....	56
ANEXO	59

Indicé de gráficos

<i>Gráfico 1.1: Gráfico de reclamos en aviación chilena 2023.</i>	2
<i>Gráfico 2.1: Estructura de Propiedad de LATAM Airlines a la fecha del 30 de septiembre de 2023.</i>	8
<i>Gráfico 2.2: Estructura de Propiedad de LATAM Airlines a la fecha del 30 de septiembre de 2023.</i>	8
<i>Gráfico 2.3: Gráfico de clasificación de flota de LATAM AIRLINES</i>	10
<i>Gráfico 2.4: Gráfico de evolución de CASK de Latam Airlines</i>	15
<i>Gráfico 2.5: Gráfico de evolución de ASK de Latam Airlines</i>	16
<i>Gráfico 2.c: Gráfico de evolución de RPK de Latam Airlines</i>	17
<i>Gráfico 2.7: Gráfico de evolución de Pasajeros transportados de Latam Airlines</i>	18
<i>Gráfico 2.8: Gráfico de evolución de kilómetros volados de Latam Airlines</i>	19
<i>Gráfico 2.S: Gráfico de evolución del Delay por año de LATAM en cientos de miles de minutos ([DM · min]):</i>	28
<i>Gráfico 2.10: Diagrama de perspectiva de calidad tradicional.</i>	29
<i>Gráfico 2.11: Diagrama función de pérdida.</i>	31
<i>Gráfico 2-12: Diagrama que indica clasificación de los falsos diagnósticos</i>	32
<i>Gráfico 2-13: Grafica de performance que satisface curva $p'p' + 3$</i>	33
<i>Gráfico 2-14: Función de pérdida de diagnósticos erróneos</i>	34
<i>Gráfico 3.1: Gráfico de evolución del Delay por año de LATAM en cientos de miles de minutos.</i>	37
<i>Gráfico 3.2: Función de pérdida de Taguchi para flota WB el 2025.</i>	46
<i>Gráfico 3.3: Gráfico evolutivo de CASM</i>	47

<i>Gráfico 3.4: Gráfico de comparación de la variable K de aerolíneas que compiten en el mercado latinoamericano para el periodo 2023.</i>	49
<i>Gráfico 3.5: Gráfico de Taguchi WB 2025 caso aplicado</i>	50
<i>Gráfico 3.c: Gráfico comparativo de compensaciones anuales</i>	51
<i>Gráfico 4-1: Gráfico resumen de metodología para calcular costo por minuto</i>	55

Indicé de Tablas

<i>Tabla 2.1: Estado de resultados como porcentaje de los ingresos de Latam Airlines</i>	25
<i>Tabla 2.2: Costos de operación como porcentaje de ingresos de Latam Airlines</i>	26
<i>Tabla 2.3: Peso relativo de los costos de operación Latam Airlines</i>	26
<i>Tabla 2.4: Costos de operación Latam Airlines</i>	27
<i>Tabla 3-1: Tabla de composición de la flota NB de Latam Airlines</i>	38
<i>Tabla 3-2: Tabla de composición de la flota WB de Latam Airlines</i>	39
<i>Tabla 3-3: Tabla de composición de la flota NB de Latam Airlines</i>	40
<i>Tabla 3-4: Tabla de composición de la flota WB de Latam Airlines</i>	40
<i>Tabla 3-5: Tabla de variables para el estudio de costos de la flota NB de Latam Airlines</i>	40
<i>Tabla 3-c: Tabla de variables para el estudio de costos de la flota WB de Latam Airlines</i>	41
<i>Tabla 3-7: Tabla resumen de costo por minuto de la flota NB de Latam Airlines</i>	41
<i>Tabla 3-8: Tabla resumen de costo por minuto de la flota WB de Latam Airlines</i>	42
<i>Tabla 3-8: Tabla con valores ponderados del valor K por año</i>	45
<i>Tabla 3-S: Tabla con valores ponderados del valor K por año por peso relativo</i>	46

Indicé de Figuras

<i>Figura 2-1: Estadísticas Operacionales de transporte de pasajeros y carga de LATAM Airlines a fines del año 2022</i>	11
<i>Figura 2-2: Estadísticas Operacionales de transporte de pasajeros y carga de LATAM Airlines a fines del año 2022</i>	11
<i>Figura 2-3: Extracto del organigrama de LATAM Airlines considerando los mandos de alta dirección</i>	12
<i>Figura 2-4: Extracto del organigrama de LATAM Airlines área OTP</i>	13
<i>Figura 2.5: La trilogía de la calidad de Juran</i>	23

<i>Figura 2.c: Esquematización de los costos de calidad.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2.7: Propuesta metodológica para función de perdida para Latam Airlines</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3-1: Diagrama de Ishikawa para Latam Airlines</i>	<i>48</i>
<i>Figura N° 3.2: Bosquejo de aplicación del modelo en panel de Looker Studio</i>	<i>53</i>

Capítulo I

Antecedentes Generales.

En este capítulo se desarrollará la justificación del trabajo, donde se tiene una problemática que es la falta de una justificación para las mejoras estandarizada en Latam Airlines, con ellos se generarán objetivos específicos que servirán de guía para alcanzar el objetivo general que es una solución a dicha problemática, dicha solución tendrá márgenes que la validarán, que se encuentran en el alcance y la metodología aplicada que es el *zoom* al paso a paso en el desarrollo del trabajo.

1.1 Justificación

La primera pregunta que debemos realizar al momento de plantear el proyecto es:

¿Por qué es importante estudiar la función de pérdida para LATAM?

La principal respuesta es que: No existe una metodología actual para estimar los costos indirectos y directos de calidad asociados al atraso de un vuelo; por ende, las estimaciones de pérdidas de LATAM debido a “no calidad” (atrasos, pérdidas de maletas, cancelaciones, *no show*, *overbooking*) son directamente los costos directos de las indemnizaciones, donde podemos ver en el “Ranking reclamos líneas aéreas”.

Donde durante 2022 el SERNAC recibió más de 30 mil reclamos contra el mercado del transporte aéreo, lo que representó un alza de 28%, respecto de 2021, aumento que se explica dentro de otras cosas, por una recuperación de más del 82% de los viajes en avión respecto 2021.

La mayoría de los reclamos fue por temas contractuales 33%; cancelación o retraso de vuelo, 14% y dificultades para el término de contrato 8%. Las quejas se concentraron en las aerolíneas que tienen mayor participación de mercado, Latam Airlines con un 40,6%, Sky Airlines, 22,5% y Jet Smart con un 20%.

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile (2023).

De lo anterior es importante destacar que Latam Airlines concentraba en 2022 un 40,6% de los reclamos cuando tenía una tasa de mercado del 58% aproximadamente (solo vuelos domésticos).

Adicionalmente se tiene que entre 2022 y 2023:

El SERNAC recibió 58.287 reclamos por parte de las personas consumidoras en el transporte aéreo entre enero del año 2022 y diciembre de 2023.

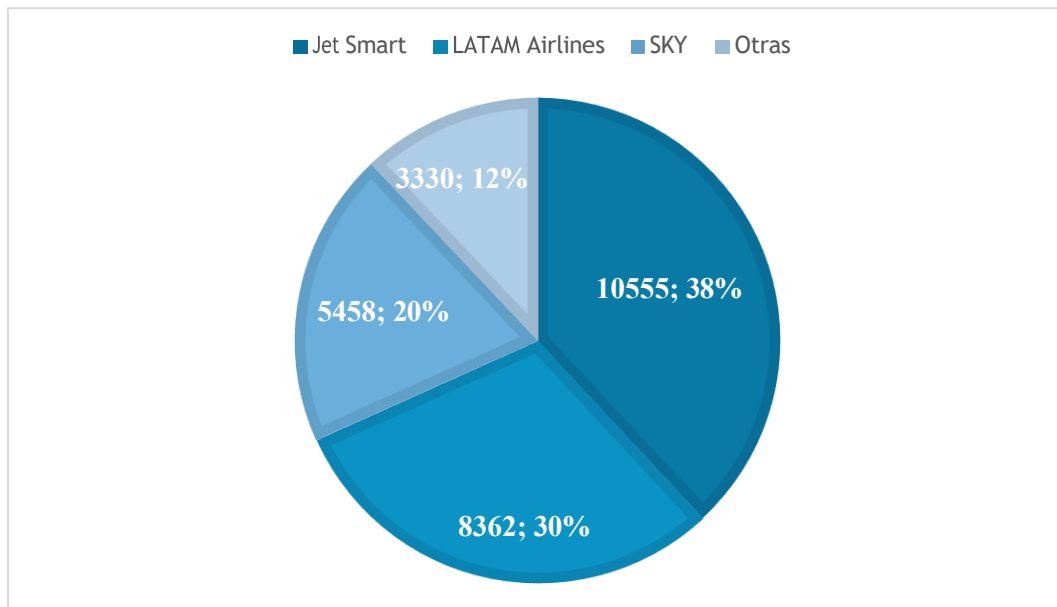
Aunque la cantidad de reclamos recibidos durante el año 2023 (27.686) disminuyó en un 10%, comparado con el 2022 (30.601), se detectó un aumento importante (77%) en la categoría de "cancelación o retraso del vuelo", en todas las aerolíneas.

Tanto es así, que se convirtió en el motivo más reclamado durante 2023 comparado con el 2022 (4.356 versus 7.694 quejas), mientras que la categoría "formalidades de contrato", que agrupa reclamos como no devolución del dinero de los pasajes o de las tasas de embarque, bajó un 36% respecto a 2022 (10.264 contra 6.604).

Por su parte, el ítem pérdida, extravío o daño del equipaje se ubicó en el tercer lugar de los motivos más reclamados en 2023, aumentando un 12% respecto al período anterior (1.808 vs 2.057).

SERNAC (2024).

Gráfico 1.1: Gráfico de reclamos en aviación chilena 2023.



Fuente: SERNAC (2024).

Se destaca la postura de que el SERNAC oficiará a aerolíneas a las aerolíneas LATAM, Sky Airlines y JetSMART, con el objetivo de comenzar una investigación debido al alza significativa de reclamos por motivo de cancelaciones y/o suspensiones, retrasos en las salidas de los vuelos, incumplimiento de horarios de los vuelos o reprogramaciones, entre otros asuntos.

Una vez realizada la investigación, el Servicio tomará las medidas necesarias para proteger los derechos de las y los consumidores.

Lo que indicaría mayores costos por las indemnizaciones por atrasos.

1.2 Objetivo general.

Como objetivo general de la memoria se tiene el siguiente:

- Construir un modelo de pérdida de Taguchi aplicable a una línea aérea, para estimar los costos del servicio entregado, validando la aplicación para LATAM Airlines.

Lo que generaría una nueva herramienta a tener en cuenta a la hora de tomar decisiones estratégicas u justificar proyectos que mejoren performance en la operación.

1.3 Objetivos específicos.

Para realizar correctamente el objetivo general de la memoria, es necesario subdividirlo en etapas u objetivos específicos como es el caso de este documento, donde para construir la función de pérdida es debemos:

- Estudiar construcción de curvas de pérdida de Taguchi (líneas aérea; industria aérea; áreas servicios; entrega de producto).
- Recopilar información relativa a costos y atrasos de LATAM Airlines.
- Construir y aplicar modelo mediante comparación con indicadores de otras líneas aéreas.
- Estimar la pérdida para un intervalo de tiempo utilizando el modelo planteado.

Donde lo que se busca al lograr estos objetivos es llegar al cumplimiento del objetivo general y así generar un impacto positivo en la organización y la industria de la aviación, ya que se induciría una nueva herramienta para la toma de decisiones de la empresa, ya que se podría medir el costo de un minuto de atraso teniendo en cuenta costos de oportunidad en la industria aeronáutica.

1.4 Alcance.

Actualmente el tópico de la Función de pérdida de Taguchi es poco explorado y desarrollado en Chile y aún más en la industria de la aviación, por ello el desarrollo del trabajo se basa en gran parte en la búsqueda de información referente al tema, tanto teóricamente como práctico, ya que lo más común es medir los costos directos o fallos en producción y no en los servicios, que se caracterizan de ser difíciles de medir debido a la intangibilidad u subjetividad de la calidad de estos, por ello el presente documento cuenta con un alcance exploratorio.

Se medirá desde la perspectiva de una empresa que cotiza en bolsa, LATAM Airlines, líder en el mercado de la aviación chilena, donde características como la percepción de la empresa juega un papel importante.

El alcance de la memoria es descriptivo ya que existe información y estudios sobre la materia, en rubros como salud y turismo, no obstante, en un contexto chileno no existen casos o información aplicada a la aviación.

Por otra parte, los límites geográficos del trabajo es el territorio donde opera LATAM Airlines junto a las filiales por la que opera.

Finalmente se tiene que el alcance temporal de los datos es el periodo del 2020 al 2024. Debido a que se solicitarán datos como los atrasos, cancelaciones, delay promedio, códigos de atraso, valor de combustible, rendimiento de aeronaves, flotas utilizadas.

1.5 Metodología.

Sobre la metodología a utilizar en el documento, se utilizarán guías teóricas como:

- Taguchi, G., Chowdhury, S. y Wu, Y. (2004), Manual de ingeniería de calidad de Taguchi, Wiley, Nueva York, NY Guía central para diseñar la función de pérdida de Taguchi
- Peña, D. “Estadística, Modelos y Métodos”, Volumen 1 Fundamentos. Alianza Editorial, Madrid, 1989. Guía teórica de respaldo para el análisis estadístico.
- Sapag Chain, Nassir., & Sapag Chain, R. (2014). Preparación y evaluación de proyectos (6a. ed.). McGraw-Hill Interamericana. Guía de respaldo para el análisis económico.

Como metodología en grandes rasgos se tiene lo siguiente:

- Recopilar información al respecto del tópico de la función de pérdida de Taguchi.
- Explicar porque es una herramienta para tener en consideración para la organización.
- Identificar los factores/costos de un minuto de atraso en tener en cuenta.
- Definir tramos de la función.
- Determinar el peso de cada factor en la función de pérdida.
- Justificar robustez de la función, mediante la validación de indicadores con la industria aeronáutica sudamericana.

Este plan será acorde a una visión de costo/beneficio, donde con una inversión se buscaría generar un ahorro u mejora en la performance, donde la inversión se justificaría con el ahorro de X minutos de atraso en un periodo de tiempo.

Capítulo II

Estado del Arte.

Para entender la problemática, se debe contextualizar a la empresa, para generar una visión general del estado actual, por ello se debe revisar desde la naturaleza de los servicios prestados, hasta la forma de “medir” los resultados, los antecedentes de la empresa y casos prácticos que ejemplifican la aplicación de la función de pérdida en el contexto operativo. Este análisis ayudará a comprender mejor la importancia y la complejidad del transporte aéreo en la industria de la aviación comercial en Chile.

- Servicio de transporte aéreo: Se analiza en detalle la naturaleza de los servicios de transporte aéreo, que abarcan una amplia gama de actividades relacionadas con la operación de aeronaves, pasajeros y carga en tierra. Estos servicios incluyen la gestión de equipajes, el abastecimiento de combustible, la limpieza de aeronaves, la asistencia en tierra y otros elementos esenciales para que los vuelos funcionen de manera segura y eficiente.
- Definición de calidad: Se entenderá como calidad como los parámetros propuestos por la organización o aerolínea y con estos se determinarán los parámetros con los cuales medir la desviación de esta en el servicio entregado al pasajero.
- Antecedentes de la empresa: Se proporciona un resumen de la historia, el alcance de las operaciones, los clientes atendidos.
- Casos aplicados como ejemplo: Se presentan casos prácticos y ejemplos concretos de cómo se pueden aprovechar las ventajas de la función de pérdida para describir el impacto económico de un servicio/producto que no está bajo las condiciones objetivo de la empresa.

Con esto en cuenta se puede dar paso a la historia del transporte aéreo junto a las definiciones relevantes.

2.1 Historia Latam

LATAM Airlines Group, resultado de la fusión entre LAN y TAM, ha sido testigo de una rica trayectoria de hitos desde su creación en 1929. LAN fue fundada por el comandante Arturo Merino Benítez, expandiendo su alcance a nivel internacional con vuelos a Buenos Aires en 1946, Lima 1956, Miami 1958 y Europa 1970. Por otro lado, TAM fue fundada en 1961 como una pequeña empresa de vuelos charter, creciendo hasta convertirse en Transportes Aéreos Regionais en 1975, ampliando sus rutas en Brasil.

LAN vivió importantes transformaciones, como su privatización 1989 y su expansión regional con la creación de LAN Perú en 1999, LAN Ecuador en 2003, y LAN Argentina en 2005, además de su ingreso a la alianza oneworld en 2000. TAM también consolidó su presencia internacional con rutas a Nueva York, Buenos Aires y acuerdos con aerolíneas globales. En 2012, LAN y TAM se unieron para formar LATAM, estableciendo una de las aerolíneas más grandes de Latinoamérica. A lo largo de los años, LATAM ha implementado estrategias innovadoras, como el lanzamiento de su modelo de negocio low-cost en 2007, la modernización de su flota en 2008, y una alianza estratégica con Delta Airlines en 2019.

A pesar de los desafíos, como la reestructuración bajo el Capítulo 11 en 2021, debido al impacto del COVID-19 en 2019 LATAM ha seguido liderando en sostenibilidad y transformación digital.

Por otra parte, se destaca la aprobación final del *joint venture* con Delta Airlines en 2022, que aplica a los mercados de Estados Unidos, Canadá, Brasil, Chile, Colombia, Paraguay, Perú y Uruguay y facilita a los pasajeros de los dos grupos el acceso a 300 destinos entre Estados Unidos/Canadá y Sudamérica

Finalmente, LATAM avanza en la reducción en un 77% de plásticos de un solo uso, el fortalecimiento de la red de alianzas del Avión Solidario y un 14% de reducción y compensación de emisiones domésticas.

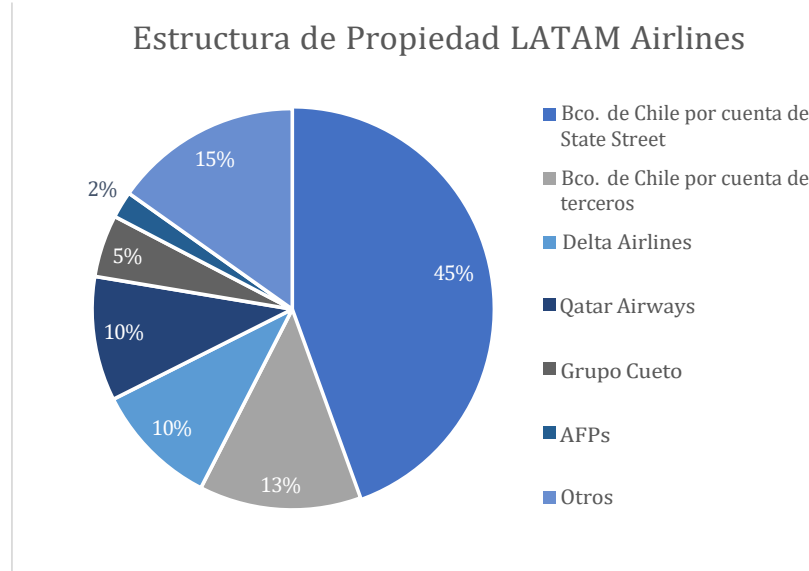
LATAM (2023)

2.2 Antecedentes generales Latam.

LATAM Airlines Group S.A. es una sociedad anónima abierta inscrita ante la Superintendencia de Valores y Seguros de Chile. Sus acciones se cotizan en la Bolsa de Comercio de Santiago, la Bolsa Electrónica de Chile, la Bolsa de Valores de Valparaíso, la Bolsa de Valores de Nueva York (NYSE) y en la Bolsa de Valores de São Paulo (BM&F BOVESPA).

Al 30 de septiembre de 2023, su estructura de propiedad se encuentra controlada mayoritariamente por *State Street* con un 44,5% de la propiedad accionaria. (Ver Anexo N°1)

Gráfico 2.1: Estructura de Propiedad de LATAM Airlines a la fecha del 30 de septiembre de 2023.



Fuente: LATAM (2023).

A lo que podemos observar la evolución del valor de la acción de LATAM Airlines, donde se evidencia su caída al entrar en el capítulo 11 a mediados del año 2020, luego de la venta de las acciones de los hermanos Cueto a finales del año 2019, generando un *peak* en el valor de las acciones, todo esto en el siguiente Gráfico:

Gráfico 2.2: Estructura de Propiedad de LATAM Airlines a la fecha del 30 de septiembre de 2023.



Fuente: Bolsa de valores de Santiago (2024)

Siendo el valor de la acción el 29/12/2024 de 13,50 [CLP].

2.2.1 Servicios, Clientes, Proveedores, Competidores y Canales de Distribución de los Servicios.

Los servicios que brinda LATAM Airlines como aerolínea vendrían dados por el transporte aéreo de pasajeros y carga. Esto incluye vuelos nacionales e internacionales, así como servicios de carga aérea.

En cuanto a sus clientes, se consideran principalmente personas que buscan viajar, ya sea por motivos de negocios o de placer. También empresas que utilizan sus servicios de carga para transportar mercancías.

Sus proveedores incluyen mayoritariamente fabricantes de aeronaves como son Airbus y Boeing; empresas de mantenimiento y reparación de aeronaves como proveedores de combustible, proveedores de servicios de tierra en los aeropuertos, entre otros. La compañía los divide en las categorías de compras técnicas (directamente relacionadas a la operación) y no técnicas.

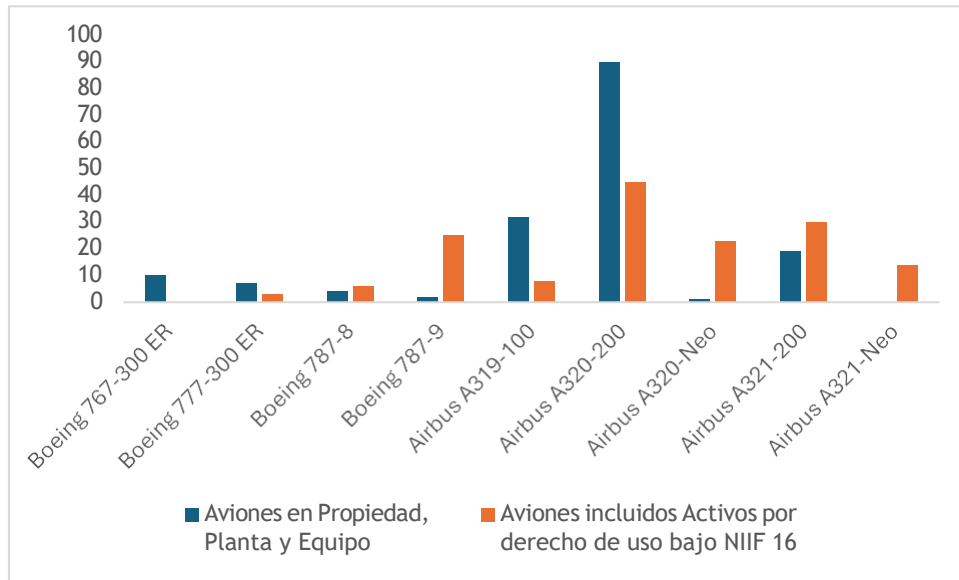
Los competidores varían según el país y la región, en Chile compiten principalmente con Sky Airlines y JetSMART Airlines, donde presenta la mayor participación de mercado con una cuota aproximada del 59% en 2021. A nivel internacional, algunos de sus competidores podrían incluir empresas como American Airlines, Delta Airlines, United Airlines, Iberia, Air France-KLM, entre otras aerolíneas locales.

JAC (2022).

Los canales de distribución incluyen la venta de boletos a través de su sitio web, agencias de viajes, sistemas de reservas en línea, y otros socios de distribución. Además, utilizan acuerdos de código compartido con otras aerolíneas para ampliar su red de rutas y mejorar la accesibilidad de sus servicios.

Es importante mencionar la composición de la flota de Latam Airlines, ya que es su principal activo para realizar la actividad del transporte aéreo, la cual está compuesta de la siguiente manera:

Gráfico 2.3: Gráfico de clasificación de flota de LATAM AIRLINES



Fuente: Elaboración propia en base a datos de LATAM AIRLINES (2024)

Donde se tienen 135 Airbus A320-200 principal aeronave *Narrow Body*, seguido de 49 Airbus A321-200 y sobre sus aeronaves *Wide Body*, la principal es el Boeing 787-9 con un total de 27 aeronaves, para una sumatoria total de 319 entre los diferentes modelos de aeronaves.

2.2.2 Estadísticas de Entrega de Servicios.

En 2022, LATAM Airlines recuperó gradualmente sus operaciones, impulsada por el fin de las restricciones de la pandemia, y por las mejoras en su estructura de costo, que le permitió operar nuevas rutas y de manera más eficiente. A lo largo del año 2022, se reanudaron y abrieron nuevas rutas, llegando a conectar 144 destinos en 22 países.

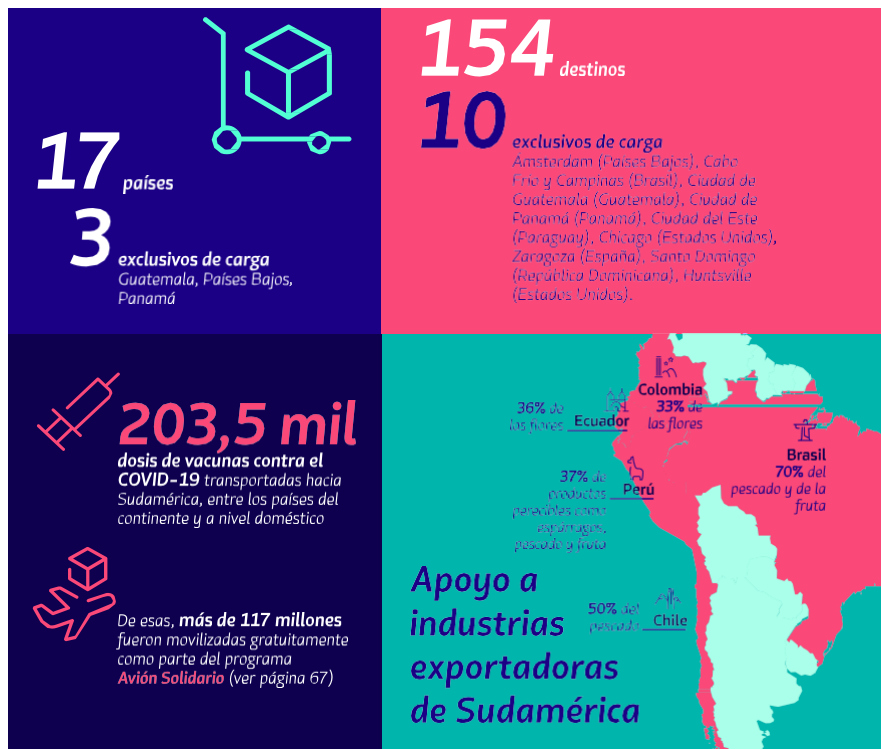
En diciembre del 2022, la capacidad consolidada, medida en ASK alcanzó un 85,2% del nivel prepandemia, con un promedio anual de un 76,3% de capacidad respecto al año 2019.

Figura 2-1: Estadísticas Operacionales de transporte de pasajeros y carga de LATAM Airlines a fines del año 2022



Fuente: Memoria Integrada LATAM (2022) .

Figura 2-2: Estadísticas Operacionales de transporte de pasajeros y carga de LATAM Airlines a fines del año 2022.



Fuente: Memoria Integrada LATAM (2022) .

2.2.3 Organigrama de la Empresa

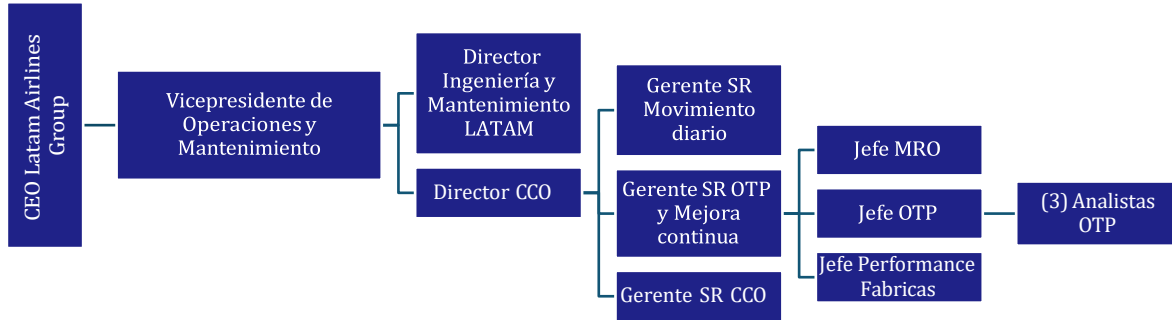
La estructura organizacional LATAM Airlines incluye varios departamentos y niveles jerárquicos. La visión de más alto nivel considera al CEO de la compañía, seguido de las vicepresidencias, los directores, los gerentes y los jefes; dependiendo del área.

Figura 2-3: Extracto del organigrama de LATAM Airlines considerando los mandos de alta dirección.



Fuente: People Manager (2023).

Figura 2-4: Extracto del organigrama de LATAM Airlines área OTP.



Fuente: People Manager (2023).

Con esto se clarifica la estructura de LATAM Airlines, donde el modelo tiene foco a ser implementado en el área de OTP debido a que está relacionado con sus objetivos sobre la puntualidad junto a que el Gerente SR del área es responsable de la mejora continua en el ámbito operacionales de la empresa.

2.2.4 Estrategia General de la Empresa

La estrategia general de LATAM Airlines incluye la expansión de su red de rutas para aumentar su alcance y cuota de mercado, tanto en destinos domésticos como internacionales. La compañía se enfoca en fortalecer y expandir alianzas con otras aerolíneas y socios del sector, buscando ofrecer paquetes de viajes más completos y mejorar la conectividad. Además, busca optimizar sus operaciones para ser más eficiente, reduciendo costos sin comprometer la calidad del servicio. Esto se complementa con una fuerte inversión en innovación y mejoras en la experiencia del cliente, desde el diseño de las cabinas hasta la digitalización de procesos para facilitar el manejo de reservas y el *check-in*.

LATAM también se compromete con la sostenibilidad, la responsabilidad corporativa, adoptando prácticas que reduzcan su impacto ambiental que promuevan la responsabilidad social. La gestión de riesgos junto a la planificación de la recuperación es crucial para la aerolínea, permitiéndole enfrentar

desafíos inesperados y garantizar la resiliencia del negocio. Por último, la digitalización y la analítica de datos juegan un papel fundamental en la mejora de la toma de decisiones para la personalización de los servicios, optimizando así la gestión de ingresos y costos, manteniendo altos estándares de calidad en su servicio, donde se tienen como pilares de sostenibilidad:

- Cambio climático: Donde indican que “Reduciremos y/o compensaremos el equivalente al 50% de las emisiones domésticas al año 2030”.
- Economía circular: Donde indican que “Queremos ser un grupo cero residuos de relleno sanitario al 2027”.
- Valor compartido: Donde indican que “Pondremos a disposición gratuita nuestra capacidad y conectividad para contribuir frente a necesidades de salud, ambientales y catástrofes naturales”.

Todo esto en su página web oficial, en el apartado de sostenibilidad, donde se amplía e indican el paso a paso de como lograran lo indicado aguas arriba.

LATAM Airlines (2024).

2.2.5 Principales indicadores

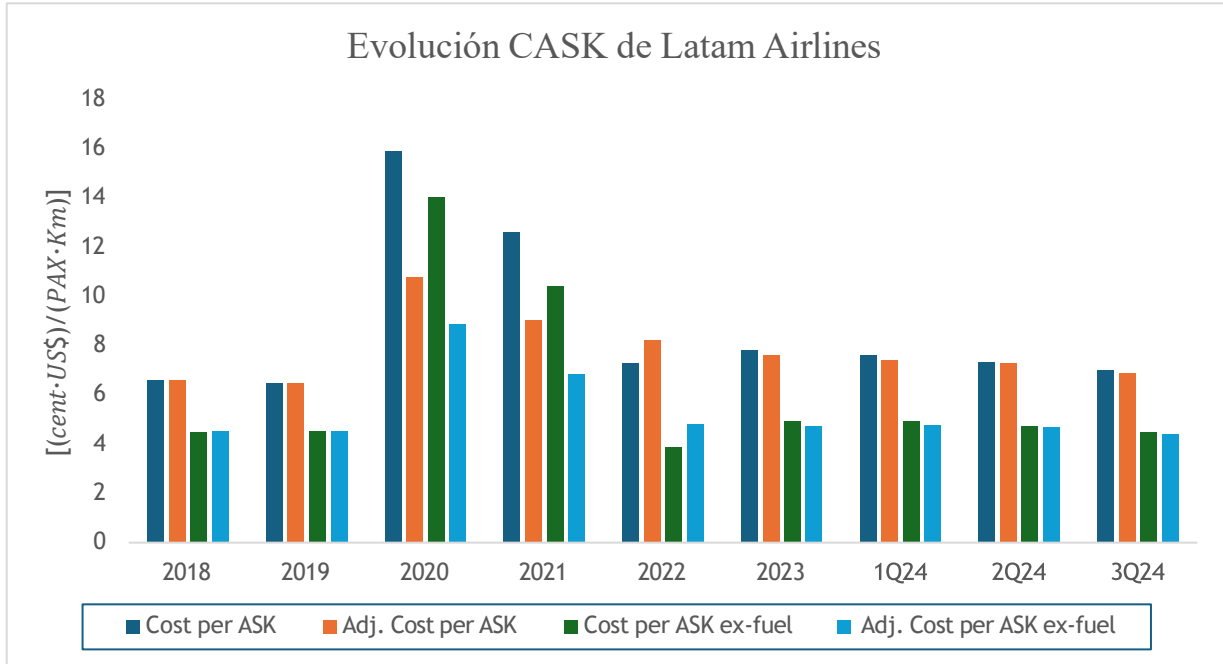
A continuación, se definirán los principales indicadores operaciones para LATAM Airlines, junto a su evolución para analizar la situación actual de la aerolínea y así generar un modelo acorde a las particularidades del rubro.

CASK: Costo de asiento por kilómetro disponible, se utiliza para medir el costo unitario expresado en valor en efectivo para operar cada asiento por cada kilómetro. Cuanto menor sea el valor CASK, más fácil será obtener ingresos. Para conseguir el CASK, el coste operativo directo se divide entre las plazas disponibles por kilómetro. CASK es esencial para determinar el desempeño de costos de las aerolíneas. Esto es fundamental para conocer la capacidad de las aerolíneas para competir y sobrevivir en la industria. CASK es uno de los términos más importantes a revisar ya que afecta la economía de las aerolíneas. Las cifras dan algunas implicaciones que determinan la estabilidad económica de la empresa.

SKYMART (2024).

A lo que la empresa tiene la siguiente evolución en el indicador:

Gráfico 2.4: Gráfico de evolución de CASK de Latam Airlines.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de LATAM AIRLINES (2024).

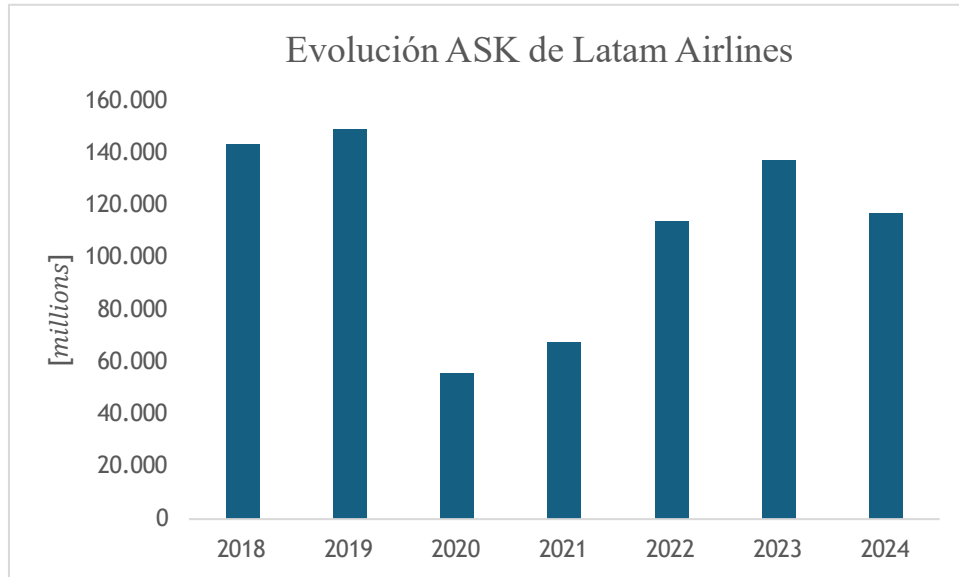
Donde de lo anterior se evidencia una línea de tendencia a la baja y valores anómalos en el año 2020 y 2021, esto debido al impacto de las restricciones por el Covid-19, donde la actividad aérea disminuyó notablemente.

ASK: El asiento disponible por kilómetro, mide la capacidad de transporte de pasajeros del vuelo de la aerolínea. El ASK se calcula multiplicando el número total de asientos disponibles por el número de kilómetros recorridos. Los asientos disponibles por kilómetro son la unidad de producción básica para la capacidad de transporte de pasajeros de la aerolínea. Una unidad se refiere a un asiento disponible para la venta. Un asiento vacío u ocupado volando un kilómetro es el asiento disponible por kilómetro.

SKYMART (2024)

A lo que la empresa tiene la siguiente evolución en el indicador:

Gráfico 2.5: Gráfico de evolución de ASK de Latam Airlines.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de LATAM AIRLINES (2024).

Donde de lo anterior se evidencia una línea de tendencia a la baja debido a valores anómalos en el año 2020 y 2021, esto debido al impacto de las restricciones por el Covid-19, donde la actividad aérea disminuyó notablemente y a que en el año 2024 solo se han considerado los primeros 2 cuartos del año.

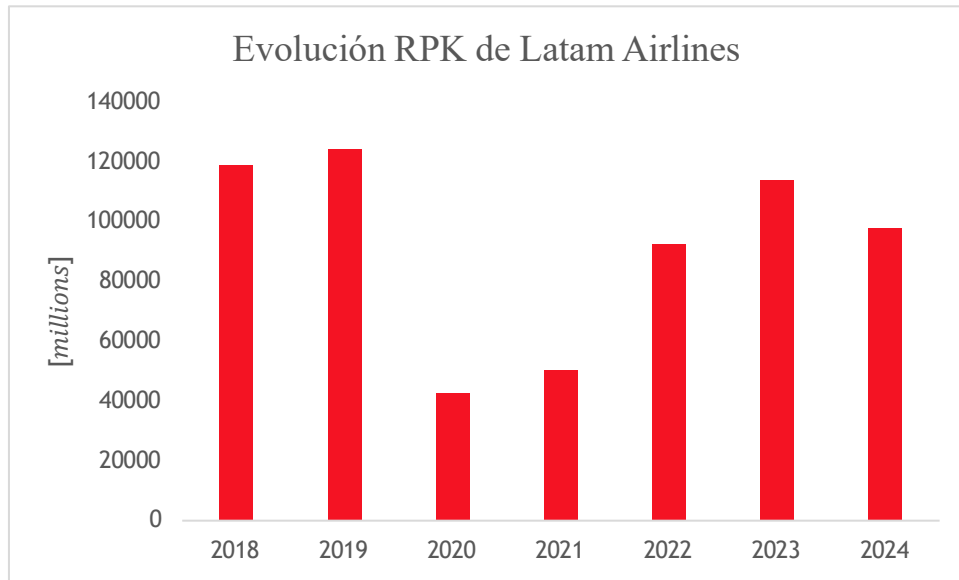
RPK – Kilómetros de Pasajeros que pagan ingresos o Millas de Pasajeros Ingresos (RPM) mide el tráfico aéreo de Airbus y aviones utilizando la fórmula:

$$RPK \text{ o } RPM = P \cdot D \quad (1)$$

Donde P es el total de pasajeros que pagan ingresos y D es la distancia recorrida en kilómetros. Las unidades varían dependiendo de las unidades de medida de distancia utilizadas por los países. RPK puede considerarse como la producción aérea básica. Además, mide el volumen de pasajeros que transporta el avión. Los pasajeros con ingresos no incluyen a los empleados de las aerolíneas, ni a los niños y bebés que no ocupan sus asientos. El rendimiento también se calcula junto con el RPK para evaluar o comparar el mercado y los ingresos de las aerolíneas.

A lo que la empresa tiene la siguiente evolución en el indicador:

Gráfico 2.6: Gráfico de evolución de RPK de Latam Airlines.

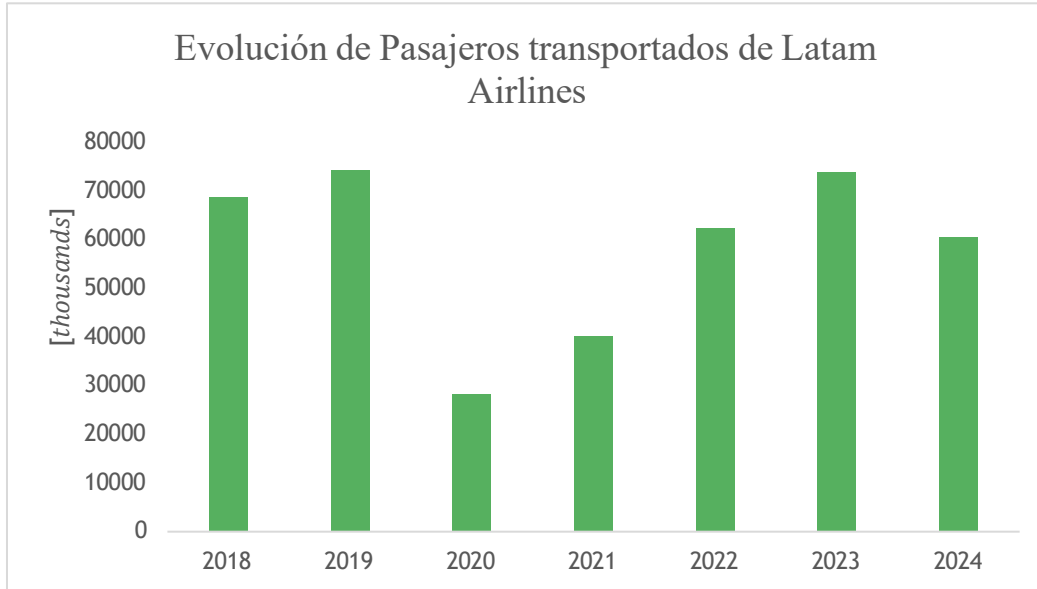


Fuente: Elaboración propia en base a datos de LATAM AIRLINES (2024).

Donde de lo anterior se evidencia una línea de tendencia a la baja debido a valores anómalos en el año 2020 y 2021, esto debido al impacto de las restricciones por el Covid-19, donde la actividad aérea disminuyó notablemente y a que en el año 2024 solo se han considerado los primeros 2 cuartos del año.

A lo que la empresa tiene la siguiente evolución en el indicador:

Gráfico 2.7: Gráfico de evolución de Pasajeros transportados de Latam Airlines.



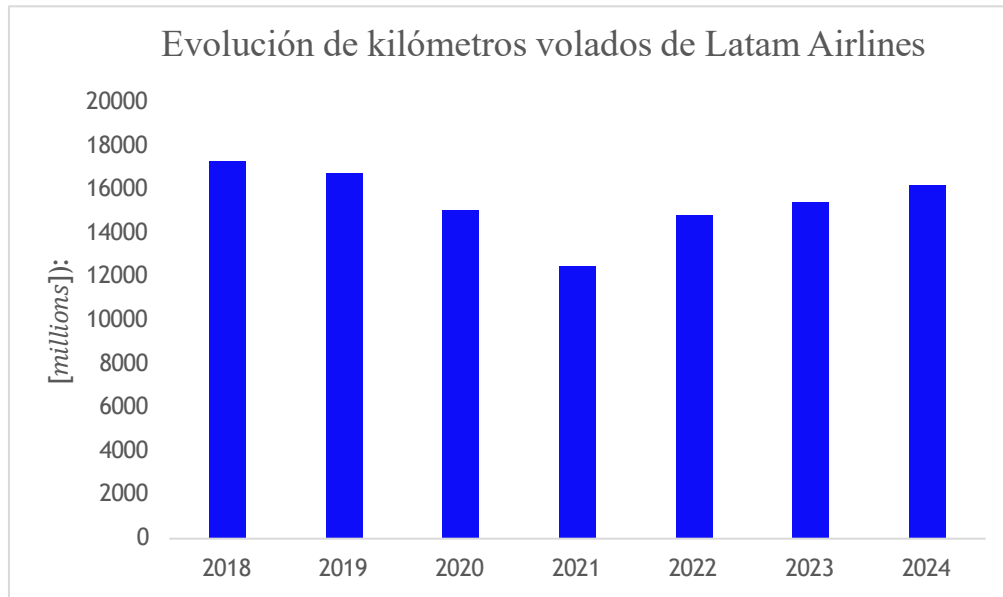
Fuente: Elaboración propia en base a datos de LATAM AIRLINES (2024).

Donde de lo anterior se evidencia una línea de tendencia a la baja debido a valores anómalos en el año 2020 y 2021, esto debido al impacto de las restricciones por el Covid-19, donde la actividad aérea disminuyó notablemente y a que en el año 2024 solo se han considerado los primeros 2 cuartos del año.

Kilómetros volados: Es la cantidad sumatoria de todas las distancias entre los destinos que ofrece Latam Airlines multiplicada por la frecuencia de dicho destino o en su defecto la distancia que recorre la malla de itinerario de todos los negocios,

A lo que la empresa tiene la siguiente evolución en el indicador:

Gráfico 2.8: Gráfico de evolución de kilómetros volados de Latam Airlines.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de LATAM AIRLINES (2024).

Donde de lo anterior se evidencia una línea de tendencia a la baja debido a valores anómalos en el año 2020 y 2021, esto debido al impacto de las restricciones por el Covid-19, donde la actividad aérea disminuyó notablemente y a que en el año 2024 solo se han considerado los primeros 2 cuartos del año.

De dichos indicadores se puede rescatar que la organización se está recuperando del impacto del Covid-19, esto debido al alza de pasajeros transportados y a la optimización del CASK, que indica los costos de la operación.

2.3 Marco Teórico.

Para el levantamiento de información para saber que cuales son los costos de operar un avión de Latam, se buscaron diferentes fuentes, donde finalmente se usara el *Spreadsheet* que la empresa comparte a sus accionistas, este es de dominio público, en este se presentan los principales indicadores operacionales y financieros.

Data que se utilizara como insumo para la aplicación la función de Taguchi, posteriormente se construirá el modelo con lo que nos indica su autor en Taguchi (2004) y se proyectara para el 2025 con lo que se indica en Sapag (2014) que indica las formas de proyección en proyectos a esto se le sumada la mirada de Peña (1989) que es la base estadísticas que se utilizara, todo está para el correcto uso de los pesos ponderados en la proyección del indicador, luego se aplicaran gráficas de control XR

para validar intervalos junto a desviaciones de los valores propuestos, usando los valores teóricos indicados en el anexo N°23, por Hernández (2008) , esto dará robustez a la metodología que se propone, para la estandarización del proceso en el futuro junto a su validación ante la dispersión del valor.

Por otro lado, existen casos aplicados o de estudios que analizan los beneficios que trae el desarrollo de la función de pérdida para las organizaciones y las sociedades. Como es el caso de Mehmet Tolga (2007), que analiza el impacto de los diagnósticos erróneos en los consultorios, junto a su impacto económico y social.

2.3.1 Calidad.

La calidad es el conjunto de funciones, particularidades o conductas de un servicio brindado o de un bien producido, que les hace competentes de satisfacer las necesidades de los consumidores; en otras palabras, es la carencia de errores de un bien o un servicio.

La calidad puede ser un concepto relativo; ya que depende de la apreciación o punto de vista que puede tener cada usuario sobre el producto o servicio brindado.

Consideramos que la definición de calidad, antes mencionada, es extensa y completa; debido a que, nos deja realizar un estudio posterior de su contenido. Según Donabedian (1996), de la definición de calidad se desprenden tres conceptos relevantes para esta investigación:

El primer concepto es que calidad es el “La calidad consiste en aquellas características de producto que se basan en las necesidades del cliente y que por eso brindan satisfacción del producto”.

Juran (1988)

No existe calidad que se pueda calcular únicamente por la apreciación o el estudio de alguna de las partes constitutivas del servicio brindado.

La evaluación se realiza de forma integral: calificando “todas las particularidades, funciones o conductas”.

El segundo concepto es que “Todas las características del producto y servicio provenientes de Mercadeo, Ingeniería, Manufactura y Mantenimiento que estén relacionadas directamente con las necesidades del cliente”. Si no se logra el objetivo, entonces se dice que no son de calidad.

Feigenbaum (1994).

Por ejemplo, al consumidor de un servicio en una consulta médica, no le interesa lo que el profesional de la salud sepa, piense o de lo que esté convencido, tampoco le importará los resultados médicos que obtenga del tratamiento recomendado, ni si el profesional de la salud cree que creó trabajo calificado; si no satisfizo sus necesidades como paciente, no lo volverá a buscar.

El tercero es que “la calidad es un concepto relativo” esto según Juran (1988) porque lo que para un individuo es bueno para otro puede ser considerado como malo. El nivel de demanda dependerá de un conjunto de hechos principalmente los de orden cultural, social y económico. El concepto de calidad para ambos tipos de personas de personas de clases sociales es simplemente diferente. Continuando con Donabedian (1996), existen dos criterios para percibir el grado de calidad:

- Calidad técnica: Se refiere a la realización de todos los requerimientos imprescindibles que se realizan a mano de lo científico, o sea con la realización de todas las reglas de atención que se han estudiado desde el punto de vista técnico-científica.
- Calidad funcional: esta es conocida como la forma en cómo es prestado el servicio al consumidor y cómo este siente que es atendido.

En cuanto al reconocimiento de la calidad funcional en servicios, el resultado tiende a ser difuso porque aún no se han establecido las medidas en las que nos podríamos basar para evaluar si el servicio ha cumplido adecuadamente con los estándares de calidad funcional o relativa, cuando hablamos de subjetividad o relatividad, medir el grado de calidad percibido por un usuario es más difícil, a menos que se hallen medios para ello. Por ejemplo, hacer Encuestas de Satisfacción a los usuarios es una forma de conseguirlo. Asignar otra descripción de calidad será muy útil para el presente trabajo:

“Se trata de satisfacer o superar las expectativas de forma coherente. En otras palabras, es calificar un hecho frente a una alusión o contexto, seguida de calificaciones metodológicas. Siempre demanda un estándar elemental de alusión y un Indicador para comprobar si ese estándar fue logrado o no”. Crosby (1979).

Esta definición nos ratifica que no todos los individuos tienen las mismas demandas sobre la calidad y al mismo tiempo filtra muchas definiciones. Lo cual nos lleva a determinar que es necesario ejecutar una equiparación para luego realizar opiniones. Si la calidad es relativa para los usuarios. La calidad

es uno de los componentes decisivos en que se basa la modificación y mejoramiento de los sistemas actuales

La calidad de los servicios será el producto de las políticas de realizar bien lo necesario y de la figura del ordenamiento que perciben los prestadores y receptores de las atenciones. El nivel en el cual los servicios prestados al usuario aumentan la posibilidad de lograr el mayor provecho alcanzable apreciadas la magnitud técnica junto a la interpersonal de la atención, y aminoran la posibilidad de agudeza de consecuencias no ansiados en el entorno personal y en el de la población asociada.

La definición de calidad posee varias intervenciones:

- Un cumplimiento institucional y/o individual de calidad significa la mejor relación que pueda existir en el arqueo entre utilidades, valores y peligros, relacionado con la tradicional definición sobre de la calidad.
- Los principios y parámetros en los que se ejecuten las evaluaciones de la calidad tendrán como punto de partida las necesidades y expectativas del usuario.

Continuando con Donadabian (1996), calidad significa cubrir por completo las expectativas de los que más necesitan el servicio al mínimo costo posible para la institución, dentro de los márgenes establecidos. Además, necesita parámetros profesionales. Como, por ejemplo, el agrado del usuario y ofertante, la utilización eficiente de medios y disminución de peligros, el alto nivel de agrado del usuario. Todo ello compromete a todos y va unido a una clase de diligencia. Con la calidad se obtiene mejores productos a menor costo, se incrementa beneficios y la empresa se transforma en una entidad superior.

Por ello por razones prácticas se entenderá como calidad a: “Cumplir con los requerimientos”, esto al juntar las visiones de los autores Deming, Juran y Crosby.

Ya que de esta forma se satisface al cliente, debido a que se entregan las características del servicio a las que responden las necesidades del cliente.

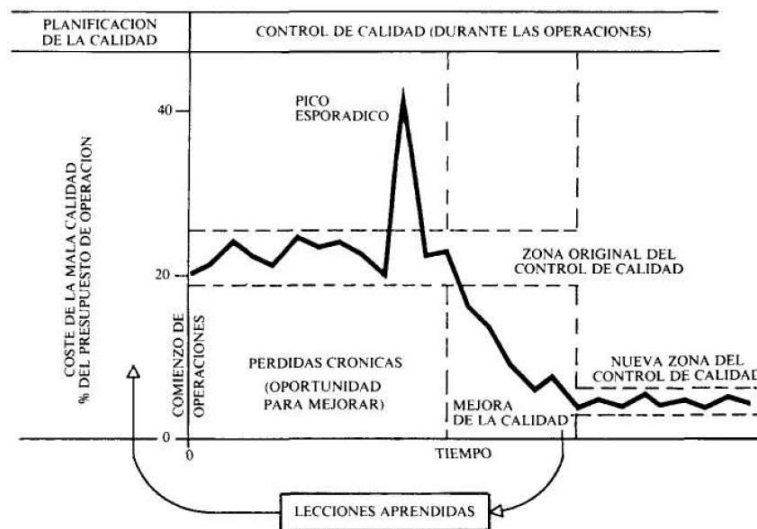
Ahora entendiendo lo que es u definimos como calidad, se debe explicar el ciclo de la mejora continua de calidad ya que el objetivo de la empresa al perseguir altos estándares de calidad es ser competitiva en el mercado, por ello se estudió el proceso detrás de este sistema, lo que es conocido como:

“La mejora continua de calidad”, donde se tienen las siguiente 3 etapas:

- Planear la calidad: Los profesionistas y técnicos se encargan de desarrollar los diseños del producto o del servicio principal capaces de responder a esas necesidades y pedidos, y de desarrollar los procesos capaces de producir las características del producto o del servicio principal y pasan los planes a los trabajadores o colaboradores de línea.
- Controlar la calidad: Los trabajadores de línea realizan los procesos y fabrican los productos o entregan los servicios según las indicaciones entregadas.
Conforme avanzan las operaciones, se descubre que el proceso es incapaz de producir el 100% del trabajo de forma correcta; por lo que un porcentaje del producto se debe reprocesar y los servicios se deben adaptar a los requerimientos de un cierto porcentaje de cliente.
Como los trabajadores no pueden intervenir el proceso, son incapaces de eliminar el desperdicio o cambiar la prestación del servicio y se limitan a controlar la calidad que consiste en detectar los productos/servicios desviados y reprocesarlos, acatando dentro de los límites de control. La empresa deberá recopilar los casos desviados para buscar mejoras.
- Lecciones aprendidas: Con lo anterior se procesan los casos para buscar las soluciones a los procesos desviados, detectando donde se falló en el proceso, a lo cual se vuelve a planear la calidad, para aumentar la calidad global del producto/servicio y así mejorar la calidad de la empresa.

Esto se puede ver representado en el siguiente esquema de “La trilogía de Juran”:

Figura 2.5: La trilogía de la calidad de Juran.



Fuente: Mc Graw Hill (2005).

2.3.1.a Costos de no calidad y calidad.

Debido a que la empresa opta por mejorar su calidad, es natural que al buscar las causas raíz, se encuentren en la disyuntiva de los costos, dicha problemática comúnmente es con un enfoque monetario, dado que al haber pérdidas o inversiones sobre la calidad, esta afecta los estados de resultado y por ende el balance general, a la par de ser difuso en una primera instancia, para la empresa es de utilidad clasificar dichos costos, la literatura los agrupa de acuerdo al motivo que los origina, las definiciones comunes son:

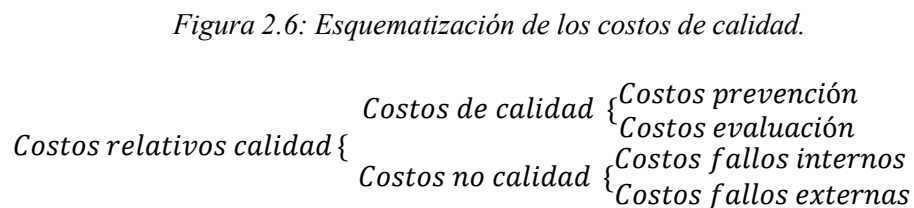
Costos de calidad: Son inversiones generados por asegurar algún nivel de calidad o que cumplan ciertos requerimientos, estos a su vez se subdividen en:

- Costos por prevención: Aquellos importes para prevenir y evitar el incumplimiento de los requerimientos, comúnmente son: Análisis de la fabricación, controles de calidad en los procesos, capacitaciones.
- Costos por evaluación: Aquellos importes generados por la inspección de los productos, para validar que cumplen con los requerimientos, comúnmente son: Inspecciones de recepción, inspecciones en línea, auditoria calidad de productos.

Costos de no calidad: Son gastos ocasionados por no cumplir con los requerimientos de los productos/servicios, estos se subdividen en:

- Costos por fallas internas: Aquellos importes generados por no cumplir con los requerimientos y/o servicios en los cuales la organización tiene un control directo y reprocessa el producto/servicio.
- Costos por fallas externas: Aquellos importes generados por no cumplir con los requerimientos y/o servicios en los cuales la organización tiene no un control directo y el producto/servicio es entregado al cliente.

Lo anterior descrito se puede resumir en el siguiente esquema:



Fuente: Elaboración propia utilizando el texto de Mc Graw Hill (2005).

Donde los costos originados por recursos consumidos por las empresas. Para conseguir la conformidad (Costes de calidad); ya sea para prevenir, sobre todo gracias a la mejora en el proceso de diseño, la aparición de defectos (Costes de prevención); ya sea para constatar la conformidad de la producción obtenida, anticipando dicha constatación, en la medida posible, para evitar que la producción defectuosa acumule más costes (Costes de evaluación).

Por otra parte, los costos de no calidad son los costes originados por la presencia de fallos o defectos, ya sean éstos detectados antes de su expedición (Costos de fallo internos); ya lo sean después (Costos de fallo externos).

Teniendo en cuenta las diferentes clasificaciones de los costos de calidad y no calidad, podemos aterrizarlo al caso de Latam, donde se tiene que de la actividad se obtiene:

Tabla 2.1: Estado de resultados como porcentaje de los ingresos de Latam Airlines.

Tabla 36: ESTADO DE RESULTADO (EXTRACTO) COMO PORCENTANJE DE LOS INGRESOS						
ITEM/PERIODOS	2011	2012	2013	2014	jun-15	PROMEDIO 2012-2015
Ingresos de actividades ordinaria	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Costos de Ventas	73,02%	78,62%	77,79%	79,58%	79,17%	78,79%
Ganancia bruta	26,98%	21,38%	22,21%	20,42%	20,83%	21,21%
Otros ingresos	2,38%	2,27%	2,64%	3,12%	3,97%	3,00%
Costos de distribución	8,59%	8,28%	7,94%	7,91%	7,77%	7,97%
Gastos de administración	7,26%	9,15%	8,79%	8,11%	9,31%	8,84%
Otros gastos por función	3,84%	3,21%	3,16%	3,32%	3,01%	3,17%
Otras ganancias (pérdidas)	-0,59%	-0,47%	-0,43%	-0,28%	-0,01%	-0,16%
Ganancias (pérdidas) de actividades operacionales	9,07%	2,54%	4,53%	4,48%	4,70%	4,06%

ITEM/PERIODOS	2011	2012	2013	2014	jun-15	PROMEDIO 2012-2015
SUMA DE COSTOS DE OPERACIÓN	92,72%	99,26%	97,68%	98,92%	99,26%	98,78%

Fuente: Osses (2016).

Donde si hacemos un *zoom* a los costos operacionales, se tiene:

Tabla 2.2: Costos de operación como porcentaje de ingresos de Latam Airlines.

Tabla 29: COSTOS DE OPERACIÓN COMO PORCENTAJE DE INGRESOS					
ITEM/PERIODOS	2011	2012	2013	2014	jun-15
Ingresos de actividades ordinaria	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Gastos de personal	18,13%	19,66%	19,29%	19,43%	22,05%
Combustible	31,33%	35,37%	34,15%	34,46%	28,35%
Otros arriendos y tasas aeronáuticas	12,02%	10,80%	10,62%	10,97%	11,16%
Arriendo de aviones	3,12%	3,22%	3,41%	4,31%	5,15%
Mantenimiento	3,26%	3,06%	3,69%	3,74%	4,59%
Comisiones	3,75%	3,18%	3,16%	3,02%	3,08%
Servicio a pasajeros	2,44%	2,47%	2,56%	2,48%	2,89%
Otros costos de operación	11,57%	13,55%	12,73%	12,30%	12,56%
Depreciación	6,92%	7,62%	7,62%	7,80%	8,99%
Amortización	0,18%	0,32%	0,44%	0,39%	0,45%
Total	92,72%	99,26%	97,68%	98,92%	99,26%

Fuente: Osses (2016).

Lo que se traduce a:

Tabla 2.3: Peso relativo de los costos de operación Latam Airlines.

Tabla 28: PESO RELATIVO DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN					
ITEM/PERIODOS	2011	2012	2013	2014	jun-15
Gastos de personal	19,55%	19,81%	19,74%	19,64%	22,22%
Combustible	33,79%	35,63%	34,96%	34,83%	28,56%
Otros arriendos y tasas aeronáuticas	12,97%	10,88%	10,88%	11,09%	11,24%
Arriendo de aviones	3,36%	3,25%	3,49%	4,36%	5,19%
Mantenimiento	3,52%	3,09%	3,78%	3,78%	4,62%
Comisiones	4,04%	3,21%	3,24%	3,06%	3,10%
Servicio a pasajeros	2,63%	2,49%	2,63%	2,51%	2,91%
Otros costos de operación	12,48%	13,65%	13,03%	12,44%	12,65%
Depreciación	7,47%	7,68%	7,80%	7,89%	9,06%
Amortización	0,19%	0,32%	0,45%	0,40%	0,45%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fuente: Osses (2016).

Y esto llevado a montos monetarios es:

Tabla 2.4: Costos de operación Latam Airlines.

Tabla 27: COSTOS DE OPERACIÓN - MILES USD					
ITEM/PERIODOS	2011	2012	2013	2014	jun-15
Gastos de personal	\$1.012.503	\$1.908.915	\$2.492.769	\$2.350.102	\$1.103.849
Combustible	\$1.750.052	\$3.434.569	\$4.414.249	\$4.167.030	\$1.419.037
Otros arriendos y tasas aeronáuticas	\$671.614	\$1.048.342	\$1.373.061	\$1.327.238	\$558.383
Arriendo de aviones	\$174.197	\$313.038	\$441.077	\$521.384	\$257.691
Mantenimiento	\$182.358	\$297.618	\$477.086	\$452.731	\$229.698
Comisiones	\$209.255	\$308.941	\$408.671	\$365.508	\$154.083
Servicio a pasajeros	\$136.049	\$239.848	\$331.405	\$300.325	\$144.518
Otros costos de operación	\$646.051	\$1.316.095	\$1.644.827	\$1.487.672	\$628.661
Depreciación	\$386.644	\$739.973	\$985.317	\$943.731	\$450.196
Amortización	\$9.831	\$31.140	\$56.416	\$47.533	\$22.338
Total costo de operación	\$5.178.554	\$9.638.479	\$12.624.878	\$11.963.254	\$4.968.454

Fuente: Osses (2016).

Datos relevantes para la construcción de la función de pérdida de Taguchi y explicación del CASK.

2.3.1.b Costos de no calidad y calidad en aviación.

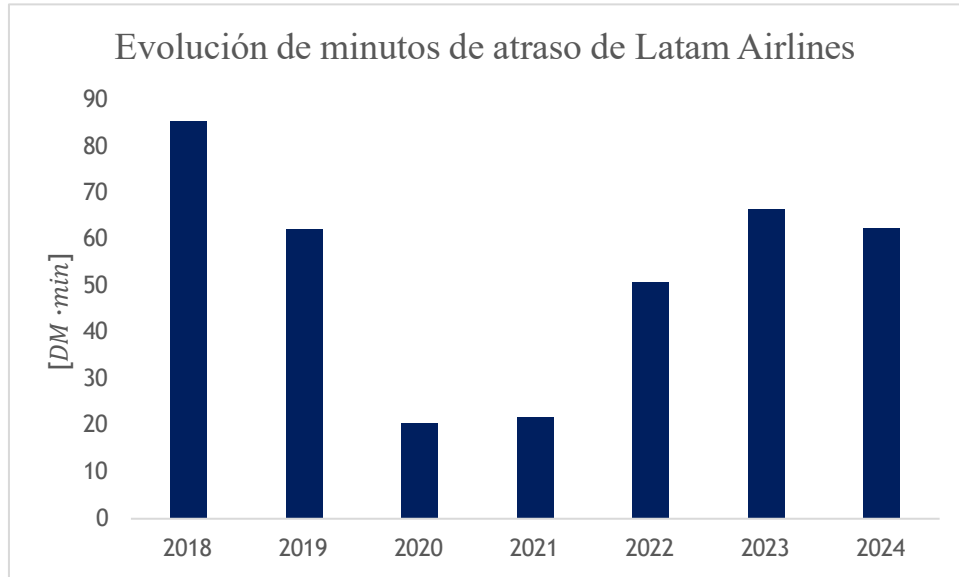
En la aviación el principal indicador de calidad es el *departur 0* para LATAM y *departur 15* junto al *Arrival 14* para la industria, estos se definen como:

- *Departur 0*: Indicador de que un vuelo cerro puertas a la hora estimada de cierre o antes (ETD).
- *Departur 15*: Indicador de que un vuelo cerro puertas hasta 15 minutos después hora estimada de cierre o antes (ETD).
- *Arrival 14*: Indicador de que un vuelo arribo a su destino hasta 14 minutos después hora estimada de llegada (ETA).

Con estos indicadores podemos decir a ciencia cierta si un vuelo está en las metas, no obstante, no se hace seguimiento a los vuelos con delay pequeños, estos son los que generan reaccionarios e impactan como efecto domino.

A lo que se presentan la suma de los “delay” o demoras por año de LATAM:

Gráfico 2.9: Gráfico de evolución del Delay por año de LATAM en cientos de miles de minutos ($[DM \cdot min]$):



Fuente: Elaboración propia mediante datos internos de LATAM Airlines.

Se evidencia una línea de tendencia a la baja debido a valores anómalos en el año 2020 y 2021, esto debido al impacto de las restricciones por el Covid-19, donde la actividad aérea disminuyó notablemente y a que en el año 2024 solo se han considerado los primeros 2 cuartos del año.

Ver anexos para ver desglose por año y negocio.

2.3.2 Función de Taguchi

La función de pérdida de la calidad, ampliamente conocida como QLF por sus siglas en inglés *Quality Loss Function*, establece el comportamiento de los costos asociados a las desviaciones de calidad respecto a la meta. De manera que el producto, en términos de calidad deja de ser simplemente catalogado como conforme o no conforme, para ser medido mediante una función que establece el costo de alejarse de las especificaciones exactas del cliente. Taguchi define la calidad de la siguiente manera: "Calidad consiste en evitar una pérdida que un producto le causa a la sociedad, después de haber sido embarcado, distinta a cualquier otra pérdida causada por sus funciones intrínsecas"

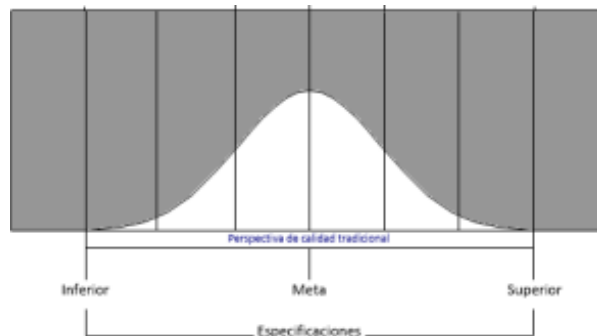
(Salazar, 2019)

En ese orden de ideas, el costo de alejarse de las especificaciones exactas del cliente puede comprender los siguientes rubros:

- Costos de mantenimiento.
- Costos de reparación.
- Costos asociados a la falla en el funcionamiento.
- Costos asociados a las lesiones provocadas por un producto defectuoso.
- Costos logísticos.

Según la hipótesis de Taguchi, mientras menor sea la variación en relación con el valor objetivo, mejor será la calidad; de manera que las pérdidas aumentan a una tasa creciente conforme crece la desviación respecto al valor objetivo de la especificación. Del mismo modo, existe una pérdida de la calidad desde el punto de vista del cliente cuando el producto se aleja de la especificación deseada, aun cuando se encuentre entre los límites de especificación, lo cual contrasta con los métodos de control de variación tradicionales. En la siguiente gráfica se puede observar la función de la pérdida de la calidad contrastada con la curva normal de los métodos tradicionales.

Gráfico 2.10: Diagrama de perspectiva de calidad tradicional.



Fuente: López (2019).

Taguchi descubrió que la función cuadrática simple se aproxima al comportamiento de la pérdida en muchos casos. La pérdida por variación del rendimiento, L , está directamente relacionada con el cuadrado de la desviación de la característica de rendimiento x respecto de su valor objetivo y , que es el rendimiento real percibido por el paciente. Es una variable aleatoria con un valor determinado.

La pérdida (L) es una función cuadrática de y, esta es una característica medible del producto en términos monetarios. El punto m es donde se debe establecer la característica y representa el rendimiento objetivo que el paciente ha pagado para recibir; y es donde realmente se establece la característica.

Debido a que como se verá aguas abajo, mientras mayor es el atraso se deben establecer límites para la función, ya que esta se obtiene a partir de una aproximación de una expansión de la serie de Taylor alrededor del valor objetivo, x, de la siguiente manera:

$$L(y) = L(x) + \left[\frac{L'(x)}{1!} \right] (y - x) + \left[\frac{L''(x)}{2!} \right] (y - x)^2 + \text{higher order terms.} \quad (2)$$

Como L(y) es cero cuando y está en el objetivo (x), por definición la pérdida incurrida es cero y la pérdida aumenta cuanto más se desvía y de x. Sin embargo, debido a la influencia de los factores de ruido, es decir, las variaciones en el rendimiento de varios parámetros pertenecientes a la prueba de diagnóstico, existe cierta diferencia entre el rendimiento y el valor ideal y esto causa pérdida de calidad. El valor mínimo de la función se alcanza en este punto y su primera derivada con respecto a x, L'(x), es cero. Si se descuidan los dos primeros términos con potencias superiores a dos, entonces la expansión de la serie de Taylor se reduce al siguiente cálculo de la función de pérdida:

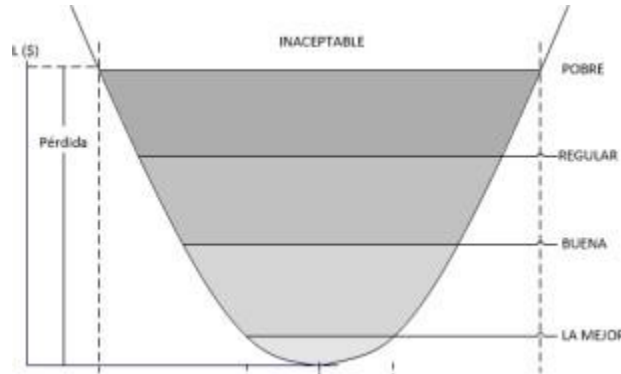
$$L(y) = \left[\frac{L''(x)}{2!} \right] (y - x)^2 \quad (3)$$

En esta ecuación, el valor de $\frac{L''(x)}{2!}$ es una constante para una característica de calidad dada. Por lo tanto, la función se puede expresar de la siguiente forma:

$$L(y) = k(y - x)^2 \quad (4)$$

Por ello se representa de la siguiente manera gráfica:

Gráfico 2.11: Diagrama función de pérdida.



Fuente: López (2019).

Se puede observar que la función de la pérdida de la calidad es una curva en forma de U, la cual se encuentra determinada por la siguiente función cuadrática simple: $L(x)$ = Función de pérdida de la calidad.

$$L(x) = k(x - N)^2 \quad (5)$$

x = Valor de la característica de calidad (observado).

N = Valor nominal de la característica de calidad (Valor objetivo - meta).

k = Constante de proporcionalidad.

La proporcionalidad es un factor que indica la relación constante entre las magnitudes costo de pérdida y desviación de la característica de calidad. De manera que para efectos de aplicación se hace necesario que la organización registre las pérdidas en función del costo de la calidad de las unidades según su desviación del valor objetivo. Así entonces, la función puede expresarse de la siguiente manera:

$$L(x) = \frac{C}{(LES - N)^2} (x - N)^2 \quad (6)$$

C = Costo de la desviación en el límite de la especificación (Pérdida por una unidad producida en el límite de especificación).

LES = Límite de especificación superior.

N = Valor de tolerancia de la desviación de la especificación.

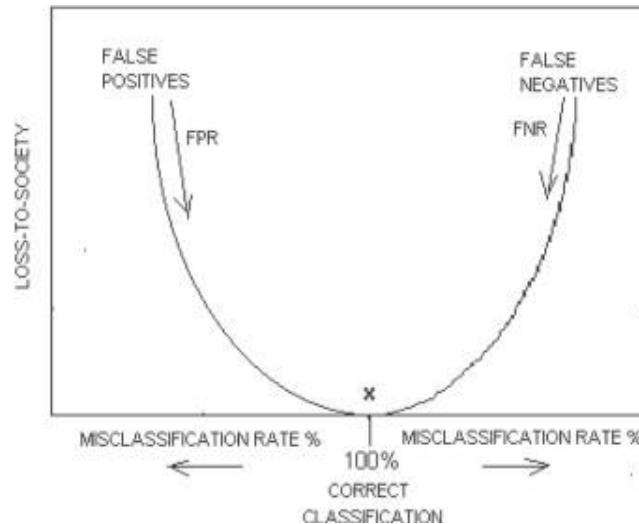
x = Valor de desviación de la especificación.

2.4 Casos a aplicados.

La función de perdida de Taguchi se ha empleado en diferentes industrias, donde una que destaca es la Salud o medicina, ya que es un servicio de alta complejidad, donde cada proceso tiende a ser diferente, esto porque si se tratan de diagnósticos, existen muchas variables que generan “ruido”, lo que puede alterar el proceso de diagnosticar, a la par que cada médico cuenta con herramientas, conocimientos o inclusive talento diferente.

El caso de Mehmet Tolga (2007), nos indica que las principales áreas que se designaron en su experimento fueron los “Falsos positivos” y “Falsos negativos” donde se condicen con diagnósticos donde se determinan otras patologías diferentes a la correcta, a lo que se grafica la parábola de la siguiente manera:

Gráfico 2-12: Diagrama que indica clasificación de los falsos diagnósticos.



Fuente: Mehmet Tolga (2007).

Adicionalmente se deben describir las funciones a lo determinaron lo siguiente:

$$\text{Cost of False Positives (CFP)} = FPF \cdot FPC \quad (7)$$

$$\text{Cost of False Negatives (CFN)} = FNF \cdot FPC \quad (8)$$

Para lo que el costo total mínimo para cada prevalencia y el costo relativo de clasificación errónea se calculan utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Total Cost (TC)} = CFP + CFN \quad (9)$$

Por lo tanto, cualquier desviación debida a una clasificación errónea aumenta la pérdida para la sociedad:

$$\text{Loss} - \text{to} - \text{society} = 0 \quad (10)$$

Cuando:

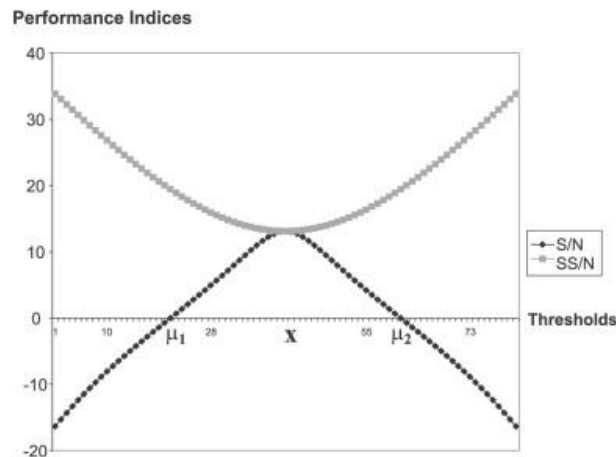
$$\frac{SS}{N} = \frac{S}{N} \quad (11)$$

Donde dan como resultado luego de maximizar las relaciones de ruido, la siguiente relación o termino K en la función de Taguchi:

$$\frac{SS}{N} 10 \log_{10} \frac{(1 - 2p')^2}{2p'(1 - p')} = 0 \quad (12)$$

Lo que al graficarlo da la siguiente curva $p'(p' + 3) = 0.5$:

Gráfico 2-13: Grafica de performance que satisface curva $p'(p' + 3)$.

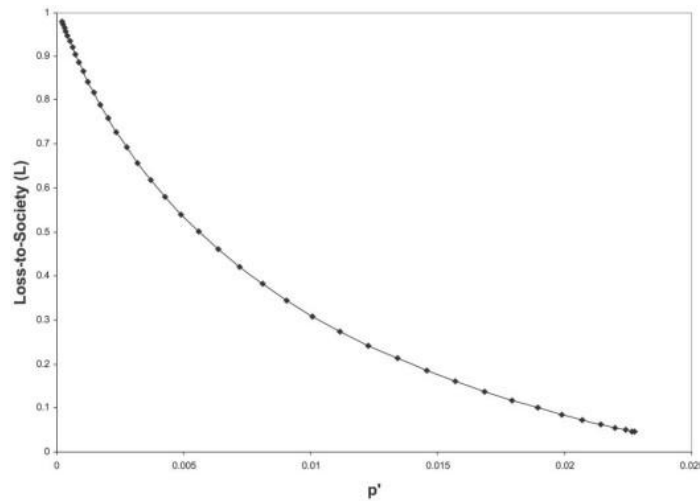


Fuente: Mehmet Tolga (2007).

Dicha ecuación solo se satisface cuando p' es 0.1575, adicionalmente se puede observar una relación inversa entre la pérdida para la sociedad y p' .

Donde finalmente se llega a la siguiente función de pérdida de Taguchi, por el extremo de menos es peor:

Gráfico 2-14: Función de pérdida de diagnósticos erróneos.



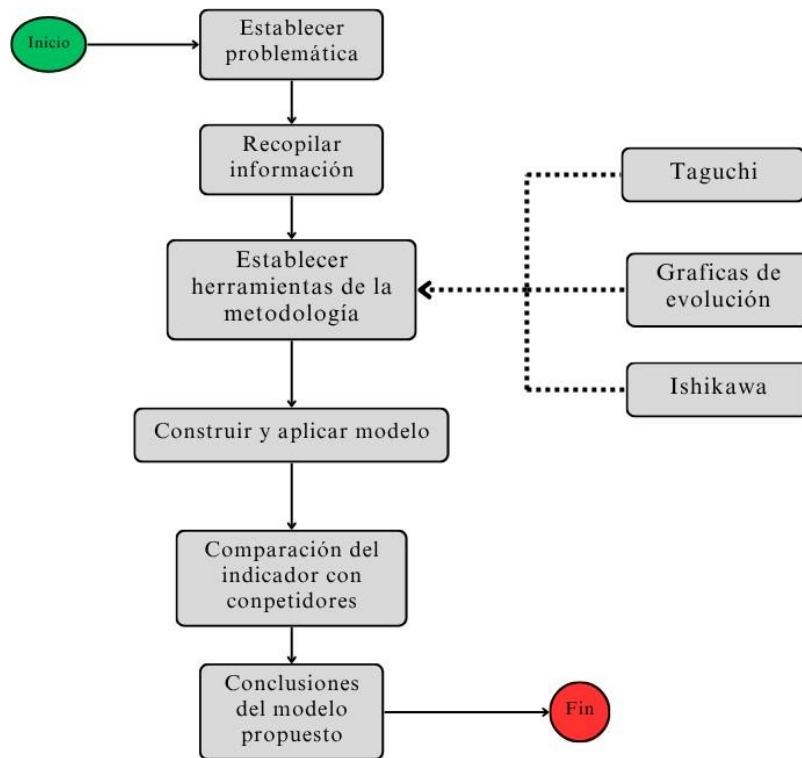
Fuente: Mehmet Tolga (2007).

2.5 Propuesta Metodológica.

Se entenderá como propuesta metodológica al plan o enfoque que se seguirá para llevar a cabo los objetivos. Donde se destacarán los procedimientos que se utilizarán para recopilar y analizar los datos necesarios para responder a las preguntas de investigación o alcanzar los objetivos planteados en la memoria.

Donde para abordar la problemática se diseñó la siguiente secuencia para la creación de la función de pérdida de Taguchi para determinar el costo de un minuto de atraso para LATAM Airlines. Por lo que se tendrán que describir los factores a medir, junto a su peso relativo dentro de la función, y el procedimiento del proceso.

Figura 2.7: Propuesta metodológica para función de pérdida para Latam Airlines.



Fuente: Elaboración propia.

Con esto se busca generar un modelo con robustez para estimar con Taguchi, aceptar los valores con las gráficas de evolución, ver si el indicador está en rangos aceptables, luego ver aristas que impactaron en la proyección del indicador con Ishikawa, para finalmente compararnos con la industria y generar conclusiones.

Capítulo III

Desarrollo

En este capítulo se describirá el contexto de la organización para desarrollar la construcción de los parámetros y la aplicación de la función de Taguchi en base a lo expuesto en el capítulo 2.

Donde se explicará la fuente de donde se obtuvieron los datos para el cálculo de la variable k , que indica el costo por minuto de atraso, esta variable se dividirá por flota *Narrow body* y *Wide body*,

Luego se desarrollará la construcción de la metodología para estimar la variable, esto para proyectar el costo para años futuros.

Finalmente se contrastará con la competencia, aerolíneas que tienen foco operacional en Sudamérica, estos son COPA y Avianca.

3.1 Contexto de la organización LATAM.

Como bien se ha explicado aguas arriba Latam Airlines posee una cota de mercado predominante en el mercado chileno y por ende un volumen de operación alto comparado con sus competidores, al ser un rubro de servicios un indicador que se monitorea constantemente en la industria es el *Arrival 14*, que es:

Arrival 14: Indicador de que un vuelo arribo a su destino hasta 14 minutos después hora estimada de llegada (ETA).

Para así lograr el *Departur 15* en los vuelos siguientes, lo que es:

Departur 15: Indicador de que un vuelo cerro puertas hasta 15 minutos después hora estimada de cierre o antes (ETD).

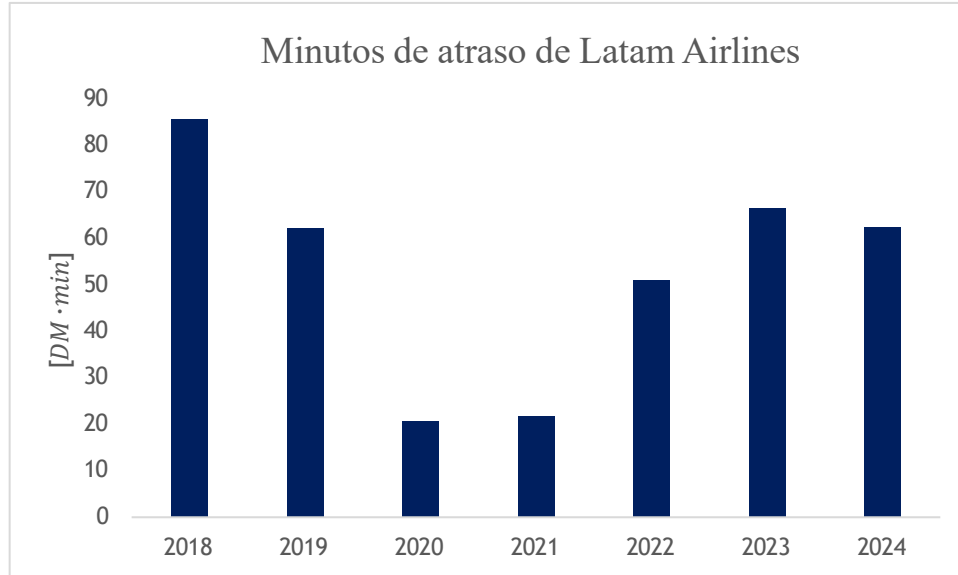
A esto Latam como política interna se guía por el *Departur 0*, para así llegar si o si al *Arrival 14* y por ende al *Departur 15*.

Por ello como se mencionó anteriormente los minutos de atraso que se producen superior al límite de calidad instaurado por la empresa (*departur 0*) se consideran como costo de calidad

3.1.1 Pérdida de calidad por retrasos en salida de vuelo.

Sobre los costos de calidad, se tienen los siguientes minutos de atraso para los años 2018-2024 (ENE-OCT):

Gráfico 3.1: Gráfico de evolución del Delay por año de LATAM en cientos de miles de minutos.



Fuente: Latam (2024).

De lo anterior se destaca que el año con mayor atraso fue 2018 con 8.559.441 [min], a esto se indaga la problemática de construir una metodología para determinar el costo de cada minuto, ya que actualmente la empresa no cuenta con metodologías que midan por ejemplo el costo de 10 [min] de atraso en un vuelo, solo las cancelaciones, compensaciones y protecciones a los pasajeros.

A lo que, con la herramienta de Taguchi y la función de perdida, se puede construir un modelo básico que en un futuro se puede refinar en medida de información disponible.

3.2 Construcción de parámetros.

Para poder utilizar la herramienta de la función de perdida de Taguchi es necesario como se explicó en el capítulo 2, tener una tasa que relacione el costo monetario de la falla por la unidad de desvío del producto o servicio en el caso de Latam, variable que llamaremos K :

$$K \left[\frac{USD \$}{Min} \right]$$

Para poder calcular K se utilizó como base los *Spreadsheet* del centro de resultados de Latam, de acceso público, esto ya que están los principales indicadores de la empresa desde 2018 a 2024 (ENE-OCT),

De dicha fuente nos enfocaremos en el CASK que es costo total de asiento por kilómetro disponible, se utiliza para medir el costo unitario expresado en valor en efectivo para operar cada asiento por cada kilómetro, que se expresa de la siguiente forma:

$$CASK \left[\frac{cent \cdot US\$}{PAX \cdot Km} \right]$$

Con esto necesitamos una forma de transformar la tasa costo por kilómetro por PAX a una tasa de costo por minuto por PAX,

A lo que el rendimiento promedio (velocidad crucero) de la composición de la flota es una opción que utilizar, debido a que el vuelo crucero es comúnmente la fase más larga del vuelo (50% a 70%)

Belobaba (2009).

A lo que se usa la composición de flota de Latam disponible en sus fuentes oficiales mencionadas aguas arriba se resume en la siguientes tablas para Narrow Body:

Tabla 3-1: Tabla de composición de la flota NB de Latam Airlines.

Modelo NB	Cantidad	Vel.crucero [km/hr]	Vel.crucero [km/min]
Airbus A319-100	40	853	14,22
Airbus A320-200	135	853	14,22
Airbus A320-Neo	24	840	14,00
Airbus A321-200	49	840	14,00
Airbus A321-Neo	14	840	14,00
	262		14,14

Fuente: Elaboración propia mediante información pública de Latam.

De la tabla anterior se utilizará la velocidad de vuelo crucero [km/min] promedio, que es de 14,14 $\left[\frac{km}{min} \right]$.

A lo que se usa la composición de flota de Latam disponible en sus fuentes oficiales mencionadas aguas arriba se resume en la siguientes tablas para Wide Body:

Tabla 3-2: Tabla de composición de la flota WB de Latam Airlines.

Modelo WB	Cantidad	Vel.crucero [km/hr]	Vel.crucero [km/min]
Boeing 767-300 ER	10	851	14,18
Boeing 777-300 ER	10	920	15,33
Boeing 787-8	10	954	15,90
Boeing 787-9	27	920	15,33
	57		15,23

Fuente: Elaboración propia mediante información pública de Latam.

De la tabla anterior se utilizará la velocidad de vuelo crucero [km/min] promedio, que es de 15,23 $\left[\frac{km}{min}\right]$.

Ya teniendo esta información, podemos hacer la siguiente relación para K :

$$K = CASK \left[\frac{cent \cdot US\$}{PAX \cdot Km} \right] \cdot \frac{km}{min} \quad (13)$$

Lo que al hacer un análisis dimensional K queda en la siguiente unidad:

$$K \left[\frac{cent \cdot US\$}{PAX \cdot Km} \right] \cdot \left[\frac{km}{min} \right] \quad (14)$$

$$K \left[\frac{cent \cdot US\$}{PAX \cdot min} \right] \quad (15)$$

Por lo que ya tenemos una relación costo por pax por minuto, por lo que al multiplicarlo por la capacidad promedio de la flota, para dejar K en términos de costo por minuto, dichas capacidades promedio de pasajero son:

Tabla 3-3: Tabla de composición de la flota NB de Latam Airlines.

Modelo NB	Cantidad	Capacidad PAX
Airbus A319-100	40	144
Airbus A320-200	135	177
Airbus A320-Neo	24	180
Airbus A321-200	49	200
Airbus A321-Neo	14	215
	262	179

Fuente: Elaboración propia mediante información pública de Latam.

De la tabla anterior se destaca que los pax promedio de la flota son 179, considerando los 262 aviones *narrow body* que opera LATAM Airlines.

Tabla 3-4: Tabla de composición de la flota WB de Latam Airlines.

Modelo WB	Cantidad	Capacidad PAX
Boeing 767-300 ER	10	262
Boeing 777-300 ER	10	408
Boeing 787-8	10	214
Boeing 787-9	27	294
	57	294

Fuente: Elaboración propia mediante información pública de Latam.

De la tabla anterior se destaca que los pax promedio de la flota son 294, considerando los 57 aviones *wide body* que opera LATAM Airlines.

Tabla 3-5: Tabla de variables para el estudio de costos de la flota NB de Latam Airlines.

NB	RENDIMIENTO PROM [KM / MIN]	CASK [CENT US\$ /PAX * KM]	COSTO MINUTO [CENT US\$ /MIN*PAX]	COSTO MINUTO [US\$ /MIN*PAX]
2018	14,14	6,581	93,081	0,931
2019	14,14	6,490	91,803	0,918
2020	14,14	15,910	225,042	2,250
2021	14,14	12,622	178,538	1,785
2022	14,14	7,295	103,182	1,032
2023	14,14	7,804	110,385	1,104
2024	14,14	7,316	103,489	1,035

Fuente: Elaboración propia mediante información pública de Latam.

De la tabla anterior se destaca que utilizando el rendimiento promedio de $14,14 \frac{[km]}{min}$ de la flota *narrow body*, se calculan los costos por minuto para el periodo 2018 al 2024.

Tabla 3-6: Tabla de variables para el estudio de costos de la flota WB de Latam Airlines.

WB	RENDIMIENTO PROM [KM / MIN]	CASK [CENT US\$/PAX]	COSTO MINUTO [CENT US\$ /MIN*PAX]	COSTO MINUTO [US\$ /MIN*PAX]
2018	15,23	6,581	92,367	0,924
2019	15,23	6,490	93,063	0,931
2020	15,23	15,910	228,130	2,281
2021	15,23	12,622	180,988	1,810
2022	15,23	7,295	104,598	1,046
2023	15,23	7,804	111,900	1,119
2024	15,23	7,316	104,909	1,049

Fuente: Elaboración propia mediante información pública de Latam.

De la tabla anterior se destaca que utilizando el rendimiento promedio de $15,23 \frac{[km]}{min}$ de la flota *wide body*, se calculan los costos por minuto para el periodo 2018 al 2024.

Lo que se traduce en la construcción nuestro indicador CASM como: Costo por asiento por minuto que es la equivalencia a la variable K .

$$CASM = K = \left[\frac{US\$}{PAX \cdot min} \right] \quad (16)$$

Tabla 3-7: Tabla resumen de costo por minuto de la flota NB de Latam Airlines.

	CASM [usd/min *pax]	PAX	COSTO MINUTO [usd/min]
K_{2018}	0,931	179	166,214
K_{2019}	0,918	179	163,932
K_{2020}	2,250	179	401,855
K_{2021}	1,785	179	318,813
K_{2022}	1,032	179	184,252
K_{2023}	1,104	179	197,113
K_{2024}	1,035	179	184,799

Fuente: Elaboración propia mediante información pública de Latam

Tabla 3-8: Tabla resumen de costo por minuto de la flota WB de Latam Airlines.

	CASM [usd/min *pax]	PAX	COSTO MINUTO [usd/min]
K_{2018}	0,924	294	271,882
K_{2019}	0,931	294	273,931
K_{2020}	2,281	294	671,504
K_{2021}	1,810	294	532,739
K_{2022}	1,046	294	307,886
K_{2023}	1,119	294	329,377
K_{2024}	1,049	294	308,801

Fuente: Elaboración propia mediante información pública de Latam.

Con lo expuesto ya solo falta indexar las variables a la fórmula de la función de perdida de Taguchi que es:

$$L(y) = K_i(y - N)^2 \quad (17)$$

Donde:

$L(y)$ es el valor de la perdida monetaria por la cantidad de minutos de atraso [$US\$ \cdot min$].

K_i es la tasa de costo monetario por minuto donde ya se multiplico por la cantidad de pasajeros e i representa el año de la tasa [$\frac{US\$}{min}$].

y es la cantidad de minutos de atraso en que se está evaluando la perdida [min].

N es el limite superior, donde al sobre pasarlo se considera perdida, en este caso es 0 por las políticas internas de la empresa [min].

Ahora si realizamos un análisis dimensional tendremos:

$$L(y) = \left[\frac{US\$}{min} \right] \cdot [min]^2 \quad (18)$$

Que al simplificar es:

$$L(y) = \left[\frac{US\$}{min} \right] \cdot [min]^2 \quad (19)$$

$$L(y) = [US\$ \cdot min] \quad (20)$$

Lo que es correcto ya que implica un producto de tiempo y dinero, que busca el cálculo de penalizaciones basadas en el tiempo y dinero involucrado (ej., el costo total de mantener un recurso inactivo durante una cantidad de tiempo específica).

3.2.1 Función de Taguchi por flota por año WB

De lo mencionado se realizará una regresión entre 1 y 8 minutos de atraso para mostrar visualmente el resultado final de la herramienta, los datos se encuentran en los anexos para más detalle,

Del Gráfico del anexo N°9 que corresponde al año 2018 anterior se destaca su función $L(y) = 274y^2$ nos indica que su interceptó es en el origen, lo que justifica las hipótesis y criterios de la herramienta de Taguchi, donde “Más es peor”, además el valor del costo en el minuto 8 es 17531,60 [$US\$ \cdot min$]

Del Gráfico del anexo N°11 que corresponde al año 2019 se destaca su función $L(y) = 272y^2$ nos indica que su interceptó es en el origen, lo que justifica las hipótesis y criterios de la herramienta de Taguchi, donde “Más es peor”, además el valor del costo en el minuto 8 es 17400,45 [$US\$ \cdot min$], valor menor debido a una disminución en el Cask debido a un aumento en el *Load Factor* (based on *ASKs*), lo que indica una operación más eficiente.

Del Gráfico del anexo N°13 que corresponde al año 2020 se destaca su función $L(y) = 672y^2$ nos indica que su interceptó es en el origen, lo que justifica las hipótesis y criterios de la herramienta de Taguchi, donde “Más es peor”, además el valor del costo en el minuto 8 es 42976,20 [$US\$ \cdot min$], este año tiene un salto abrupto en los costos, esto debido al efecto generado a raíz de la pandemia de Covid-19 y cese del transporte de pasajeros por cierre de fronteras, lo que impacta en el *Load Factor* siendo de 73,8%, por otra parte significo un aumento en costos de prevención y combustible que aumento 3,2 [$Cent US\$$], todo esto mientras los costos fijos se mantenían.

Del Gráfico del anexo N°15 que corresponde al año 2021 se destaca su función $L(y) = 533y^2$ nos indica que su interceptó es en el origen, lo que justifica las hipótesis y criterios de la herramienta de Taguchi, donde “Más es peor”, además el valor del costo en el minuto 8 es 34095,30 [$US\$ \cdot min$], este año tiene una disminución en los costos debido a la pandemia de Covid-19, ya que se empezaron a flexibilizar las políticas de los gobiernos esto con un LF de 81,3% y se retomó el transporte de pasajeros junto a una disminución en el costo del combustible de 1,8 [$Cent US\$$] pero aun mayor al costo del año 2019.

Del Gráfico del anexo N°15 correspondiente al año 2022 se destaca su función $L(y) = 308y^2$ nos indica que su interceptó es en el origen, lo que justifica las hipótesis y criterios de la herramienta de

Taguchi, donde “Más es peor”, además el valor del costo en el minuto 8 es 19704,70[US\$ · min], este año tiene una disminución aun mayor en los costos en relación con el año anterior, ya que se liberaron las restricciones y se incentivaba el transporte aéreo, ya que aumento al 83% el LF.

Del Gráfico del anexo N°18 correspondiente al año 2023 se destaca que su función $L(y) = 329y^2$ nos indica que su interceptó es en el origen, lo que justifica las hipótesis y criterios de la herramienta de Taguchi, donde “Más es peor”, además el valor del costo en el minuto 8 es 21080,20[US\$ · min], este un aumento con relación al año anterior, ya que se recuperó el nivel de actividad aérea y se empezó a crecer en el número de operaciones, superando el 2019. No obstante, todos los gastos operacionales aumentaron con respecto al año anterior, pasando de -9.381.941 a -10.461.281 [US\$ 000], desde los ítems de comisiones por agentes a servicio al pasajero aumentaron en costos.

Del Gráfico del anexo N°21 correspondiente al año 2024 se destaca su función $L(y) = 309y^2 + 0y$ nos indica que su interceptó es en el origen, lo que justifica las hipótesis y criterios de la herramienta de Taguchi, donde “Más es peor”, además el valor del costo en el minuto 8 es 19763,20[US\$ · min], este una disminución relación al año anterior, ya que se aumentó el número de operaciones, superando el 2023. Donde hay una disminución de 0,5 [Cent US\$] en el CASK general.

El mismo procedimiento se realizó con los datos de la flota NB, estas se encuentran en el anexo para su revisión.

3.3 Creación de modelo de función de perdida de Taguchi

Con lo expuesto anteriormente, se ha podido modelar los costos por minuto por flota, no obstante la resolución de la problemática busca crear un modelo que nos ayude a estimar posibles costos futuros, usando de base las tasas de los años anteriores, una opción para crear un modelo, es la estimación de la variable K mediante pesos ponderables y en nuestro caso al tener 6 muestras anuales, donde 2 de ellas son valores anómalos que sirven como valores extremos, los cuales son el 2020 y 2021 por el impacto de la pandemia a raíz del Covid-19 a nivel mundial,

A lo que para realizar una estimación de pesos variables los pasos necesarios son los siguientes:

Definir la nueva función:

$$L(y)_{PONDERADO} = \left(\sum_i^I W_i \cdot K_i \right) \cdot y^2 \quad (21)$$

W_i es el peso de K_i donde i indica el periodo a evaluar.

En esta versión se extrae N ya que la empresa lo define para todos sus periodos como 0.

Definir restricciones:

$$\sum_{i=1}^I W_i = 1 \quad (22)$$

Lo anterior indica que la suma de todos los pesos de todos los periodos no puede superar 1, esto para preservar las propiedades de la función, ya que se busca promediar funciones.

De los pasos anteriores se puede reescribir K como:

$$K_{PONDERADO} = \sum_{i=1}^I W_i \cdot K_i \quad (23)$$

Donde se tiene la siguiente tabla con los valores asignado a los años, en base a su distanciamiento:

Tabla 3-8: Tabla con valores ponderados del valor K por año.

	W
2018	0,16
2019	0,16
2020	0,1
2021	0,12
2022	0,16
2023	0,16
2024	0,14
	1

Fuente: Elaboración propia.

Para así reescribir la función de Taguchi como:

$$L(y)_{PONDERADO} = K_{PONDERADO} \cdot y^2 \quad (24)$$

Con esta nueva función de Taguchi podemos ahora estimar los posibles costos de un minuto de atraso con:

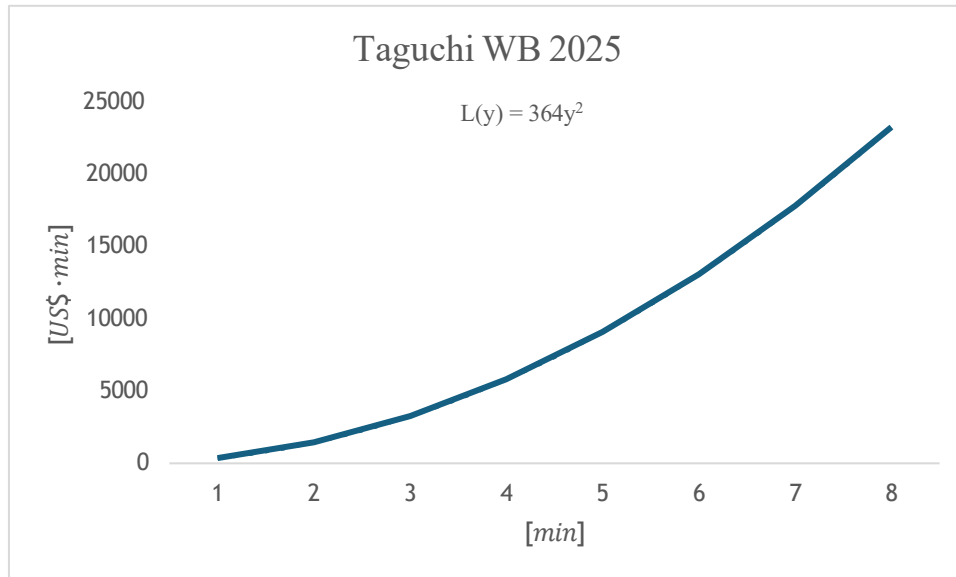
Tabla 3-9: Tabla con valores ponderados del valor K por año por peso relativo.

	W	K	W*K
2018	0,16	271,88	43,50
2019	0,16	273,93	43,83
2020	0,1	671,50	67,15
2021	0,12	532,74	63,93
2022	0,16	307,89	49,26
2023	0,16	329,38	52,70
2024	0,14	308,80	43,23
	1		363,60

Fuente: Elaboración propia.

Con el valor de la tasa ponderada se debe repetir el procedimiento exhibido aguas arriba para graficar la función, a lo que se tiene como resultado:

Gráfico 3.2: Función de perdida de Taguchi para flota WB el 2025.

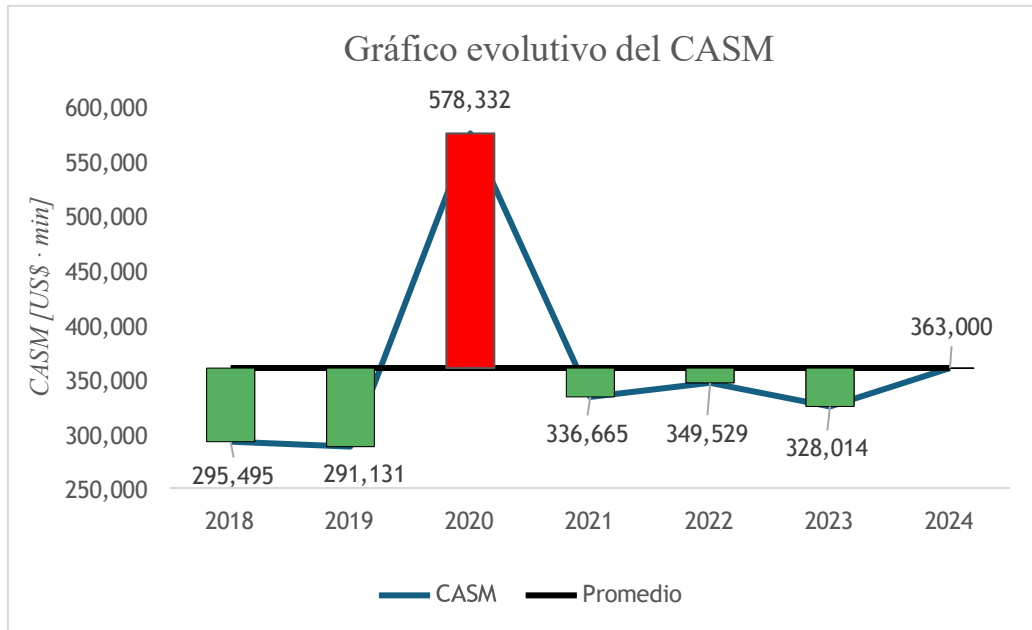


Fuente: Elaboración propia.

Al tener ya una proyección del costo por minuto para el año 2025, surge la incógnita de si este valor está dentro del rango esperado, si está muy por encima de la media o si simplemente es erróneo, a lo que para resolver esta incógnita recurrimos a un análisis de grafica historia u evolutiva, donde se graficaran en un formato de vela la variación positiva con un color rojo, ya que si el costo aumenta, es peor para la organización y como caso contrario, si este baja, se coloreara de un tono verde, ya que es positivo, todo esto porque el objetivo de la empresa es minimizar los costos y así aumentar el

margen de ganancia, como se vio en las tablas 2-2, a lo que se generó la siguiente grafica con los datos del año 2018 al 2024:

Gráfico 3.3: Gráfico evolutivo de CASM.



Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior se destaca que antes del impacto de la pandemia 2020, la empresa cuenta con un indicador promedio de 293,303 [US\$ · min], luego se aumentara en un 98,65% con respecto al año anterior, valor critico si se tiene en consideración que la industria margina alrededor de un 3%, lo que sin dudas se condice de la decisión de suscribirse al capítulo N°11 que se mencionó aguas arriba,

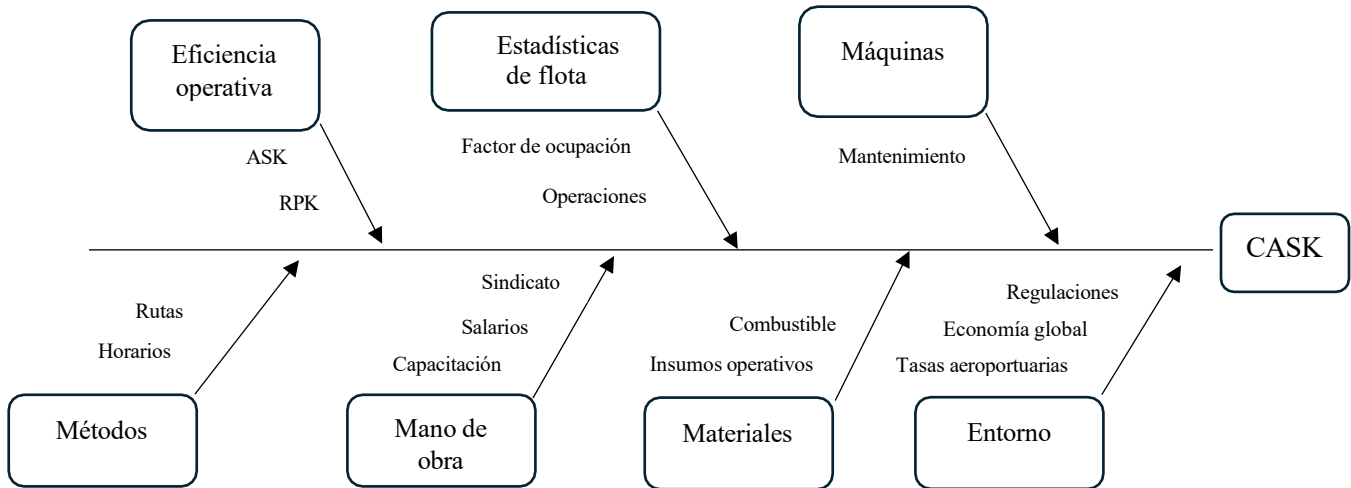
Luego de este año crítico, la empresa en los años 2021 al 2023 cuenta con un CASM promedio de 338,070[US\$ · min], lo que representa una disminución de 41,54% con respecto al máximo y si se comparan los promedios se tiene que el efecto pandemia dejo un factor de rezago de 15,26%, es decir después de la pandemia el CASM aumento en un 15,26% en promedio.

Con este histórico, al momento de proyectar se puede estimar si el valor es correcto, mediante el análisis de las variaciones porcentuales, donde entre años, el promedio no es de más del 6,60%, variación *peak* entre el 2022 y 2023, por lo que un valor recomendado para entrar al análisis es una variación de 10% en la proyección.

Para finalizar con la metodología creada para determinar el costo de un minuto de atraso y se analizaran las posibles causas raíz del indicador CASK que es la raíz o corazón de la metodología ya

que de dicho indicador derivan los cálculos y posteriormente el control de la variable proyectada, por lo que se realizara un diagrama de Ishikawa, la idea de esto es que sirva en caso de que la proyección aguas arriba este sobre el límite superior o bajo el límite inferior, para detectar el por qué y ajustarse adecuadamente, Sabemos sobre Ishikawa y su diagrama que se puede representar de la siguiente manera para Latam Airlines:

Figura 3-1: Diagrama de Ishikawa para Latam Airlines.



Fuente: Elaboración propia.

Donde de las anteriores causas raíz, se identifica que las operaciones o la cantidad de vuelos junto al factor de ocupación y el RPK, son críticos para la empresa, ya que se cuenta con costos fijos considerables, que se apalancan con la cantidad de pasajeros transportados optima por operación a un costo de ticket lo más alto posible.

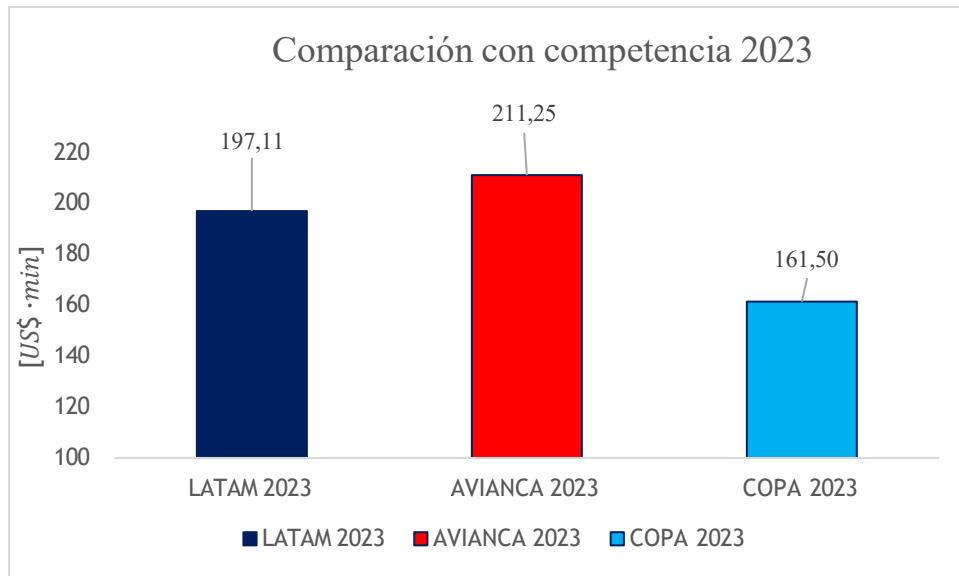
Otra causa importante para revisar es el combustible, la cual es una variable que representa alrededor del 30% del CASK, esto se puede evidenciar en el Gráfico N°2, donde se ve la evolución del CASK.

3.4 Comparación del modelo de función de pérdida con indicadores de la industria aeronáutica sudamericana.

El modelo contiene diferentes fortalezas, donde se destaca que genera una metodología para estandarizar los costos por minuto y así poder justificar proyectos de mejora mediante un enfoque de minutos que se ahorran y por ende una cantidad monetaria, a la par que se presenta el paso a paso para generar proyecciones, esto implica que se pueden hacer casos oportunistas o pesimistas,

Por otro lado, se si se tienen los insumos necesarios, se puede realizar el mismo indicador CASM (Costo asiento minuto) para la competencia y de esta forma compáranos, como se puede ver en el siguiente ejemplo, donde se utilizan los límites de Latam Airlines propuestos con el método:

Gráfico 3.4: Gráfico de comparación de la variable K de aerolíneas que compiten en el mercado latinoamericano para el periodo 2023.



Fuente: Elaboración propia.

Del anterior Gráfico podemos rescatar que es una herramienta visual que resume el comportamiento de las aerolíneas e indica a cuál le cuesta más cada minuto de atraso, donde Copa es la menor, luego Latam y finalmente Avianca superando el promedio.

Otra forma de ver el indicado es como un análisis retroactivo, donde un k menor indica una tendencia mayor de OTP, esto ya que Copa fue el TOP1 en el año 2023, no obstante, no se ha demostrado dicha correlación en este trabajo, lo cual es uno de sus puntos débiles.

El modelo no implica por sí solo una mejora en el OTP o en los procesos, solo busca implementar un método para justificar costos monetarios a una cantidad de minuto finita de atrasos.

Lo que se reflejaría en el siguiente ejemplo práctico:

Supongamos que en la ruta LIM-MAD una vez cada 3 meses ocurren problemas con disponibilidad de *tickets*, debido *overbooking* a lo que mínimo se debe convencer a un pasajero de pasar de *bussines* a *economy*, con una compensación de 4000 [US\$], generando en el mejor de los casos 8 minutos de demora.

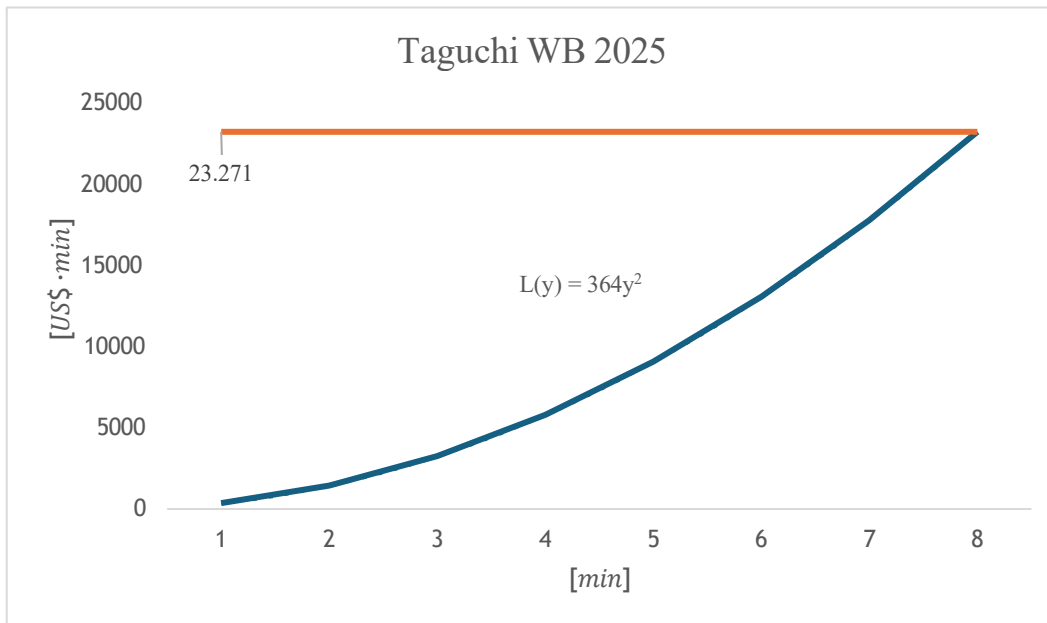
A lo que el área de servicio al pasajero quiere impulsar mejoras en el sistema en el año 2025 para evitar esta situación, la forma en que justificaban el presupuesto era sopesando los costos por compensación anual mínima:

$$\text{Costos por compensación anual mínima} = 8000 [\text{\$US}] \cdot 4 = 32000 [\text{\$USD}] \quad (35)$$

No obstante, les responden que ser un valor de tal magnitud no es relevante implementar la inversión y arriesgarse con otros costos que podrían derivarse a raíz del nuevo sistema.

Por otra parte, si se utilizara la metodología de la función de perdida tendríamos lo siguiente:

Gráfico 3.5: Gráfico de Taguchi WB 2025 caso aplicado.



Fuente: Elaboración propia.

Del anterior Gráfico rescataamos que el costo por los 8 minutos de espera representa 23.271

[US\$] ya que representa un costo total acumulado para los 8 minutos por la función de pérdida con la ecuación $L(y) = 364y^2$.

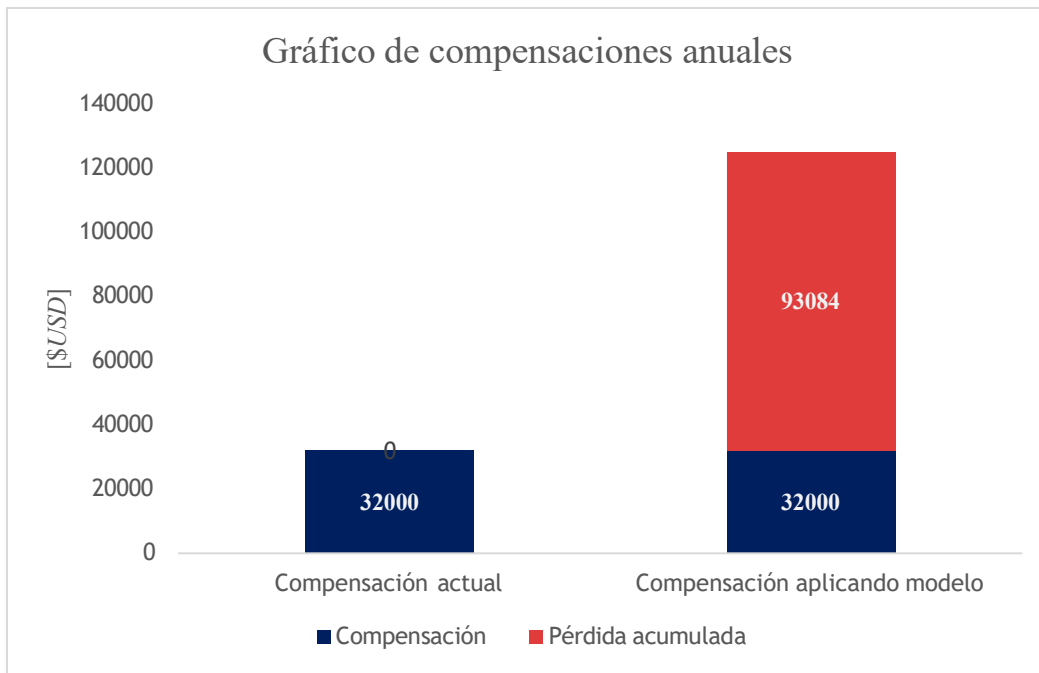
Lo que se refleja en la justificación del presupuesto de la siguiente manera:

$$\text{Costos por compensación anual mínima} = (8000 + 23271)[US] \cdot 4 = 125.084 [USD] \quad (36)$$

Suma mayor a la anterior y que no solo considera la compensación de los *tickets*, sino también el de los costos de operar esos 8 minutos extras.

Lo que se traduce al siguiente Gráfico:

Gráfico 3.6: Gráfico comparativo de compensaciones anuales.



Fuente: Elaboración propia.

3.5 Propuesta de implementación

Finalmente se propone implementar el modelo de función de pérdida propuesto anteriormente para la toma de decisiones estratégicas en la compañía, esto debido a que como se comentó aguas arriba, la empresa en estos momentos solo contabiliza los costos monetarios orientados a indemnizaciones directas a los pasajeros, por lo que se idéntica una oportunidad de mejora en los procesos utilizando el modelo como justificación para los proyectos de mejora continua, esto se podría implementar en el área de OTP, mejora continua, que se ve en la figura N°1-4.

Al ser un modelo nuevo, y como se vio con el análisis de las gráficas de evolución, las variaciones porcentuales año a año son de la magnitud de un 5 al 10%, esto al existir pocas muestras, se puede considerar una debilidad del modelo, principalmente debido a la accesibilidad a los datos, esto se puede mejorar teniendo acceso a los datos internos como es el caso del área para estandarizar junto a afinar a detalle el indicador, por mes de ser necesario. Teniendo esto se podría si así lo decidieran ponderar el valor de la función de pérdida como un coeficiente para la toma de las decisiones, y así ponderar las aristas operacionales/logísticas, comercial (usando las compensaciones monetarias) junto a la satisfacción del cliente NPS (valores internos manejados por la compañía),

Que se podría ver de la siguiente forma:

$$\text{Costo final} = \alpha \cdot L(y) + \beta \cdot X + \gamma \cdot Z \quad (37)$$

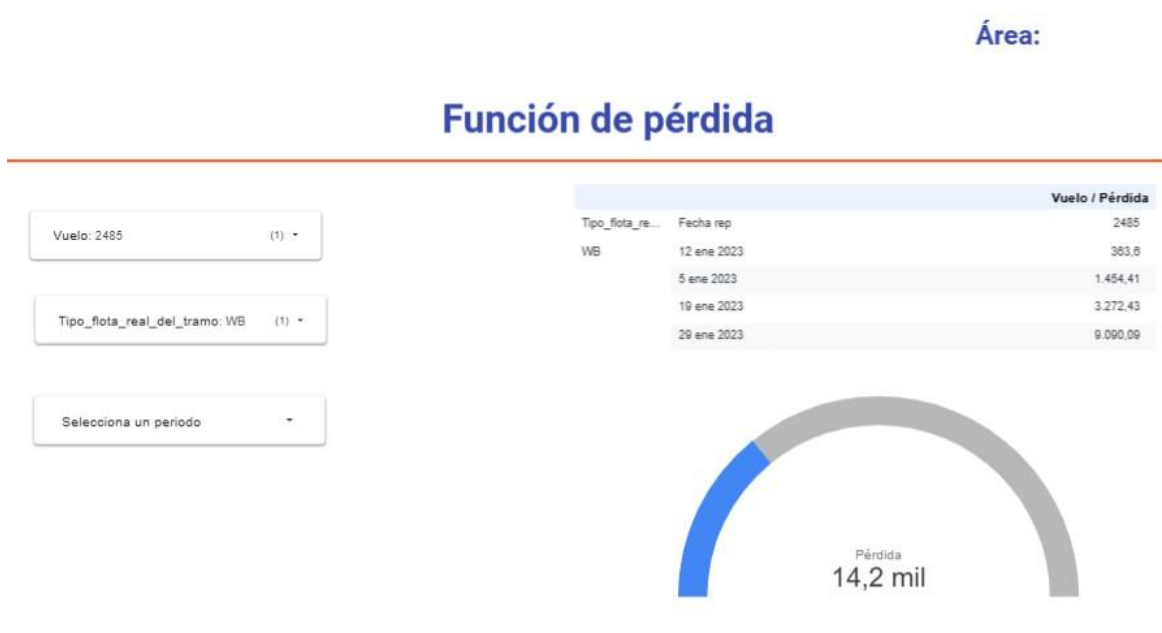
Donde:

$$\{(\alpha + \beta + \gamma) \in \mathbb{R}^3 : \alpha + \beta + \gamma = 1, \alpha \geq 0, \beta \geq 0, \gamma \geq 0\} \quad (38)$$

Esto siempre respetando las unidad para que se puedan agregar entre sí, los pesos deben ser decididos por el equipo correspondiente a la par de su justificación pertinente para la robustes del dato, con esto se pueden validar mejoras frente a los altos ejecutivos para la toma de decisiones asertivas para la compañía y con esto se cumpliría el objetivo inicial, donde un costo por minuto menos indicaría una optimización en los costos operacionales, debido a que es una derivación directa del CASK.

Por otra parte, se tiene la posibilidad de la automatización del indicador mediante consultas programadas junto a paneles en *Looker Studio*, donde la herramienta puede enlazarse a diferentes bases de datos y por ejemplo buscar por número de vuelo, material y fecha como en el siguiente ejemplo:

Figura N°3.2: Bosquejo de aplicación del modelo en panel de Looker Studio.



Fuente: Elaboración propia.

Donde de lo anterior, se puede escalar a la automatización de la generación de presentaciones con el indicador junto a otras variables claves, ahorrando tiempo en el cálculo y siendo aprovechado para el análisis operacional, de ser necesario.

Conclusiones

La propuesta metodológica basada en los estudios de la función de pérdida de Taguchi para LATAM Airlines cuantifica los costos minuto a minuto hasta los 14 minutos, esto por la definición de los indicadores de la empresa y a que el enfoque es focalizado a los vuelos con pequeñas demoras que afectan finalmente el OTP y el Departur 0.

Esto respalda proyectos enfocados en disminuir los periodos de espera y mejorar la operación.

En el proceso se incorpora un modelo predictivo fundamentado en información histórica, lo que permite prever el costo por minuto de demora en años venideros. Esta perspectiva respalda la estrategia de planificación y la distribución de recursos.

Por otra parte, se plantea una gestión de parámetros e identificación de desvíos mediante la aplicación de graficas de evolución y diagramas de Ishikawa que facilita la identificación de las causas principales de desviaciones en los costos, como el factor de ocupación, la eficiencia en las operaciones y las variaciones en los costos del combustible. Estas herramientas son fundamentales para realizar modificaciones correctivas.

Finalmente tenemos que tras el desarrollo de la memoria el costo para el año 2025 de Latam Airlines será de $364 \left[\frac{USD\$}{min} \right]$ para la flota WB, como se evidencia en el Gráfico 3.2, de “*Función de perdida de Taguchi para flota WB el 2025.*”

Adicionalmente se encontró el valor de la estimación en la línea central de la gráfica de control XR, como se evidencia en el Gráfico 3.3, *Gráfico evolutivo de CASM.*

Por otra parte, si evaluamos la flota NB, para compararnos con la competencia tenemos que el costo por minuto de atraso para el año 2023 para LATAM Airlines, AVIANCO y COPA fue de 197,11 [US\$ · min], 211,25 [US\$ · min], 161,50 [US\$ · min], respectivamente, esto en el Gráfico 3.7: “*Gráfico de comparación de la variable K de aerolíneas que compiten en el mercado latinoamericano para el periodo 2023.*”

Se puede concluir que la metodología sugerida no solo proporciona un enfoque robusto para estimar y proyectar costos, sino que también posibilita la justificación de inversiones en mejoras operacionales para la generación de valor estratégico al contrastar con los estándares del mercado junto a los indicadores internos de la organización, como se ve en el siguiente diagrama resumen:

Gráfico 4-1: Gráfico resumen de metodología para calcular costo por minuto.



Fuente: Elaboración propia.

Bibliografía

- AECA. (5 de Septiembre de 1995). *aeca.es*. Obtenido de *aeca.es*:
https://aeca.es/old/refc_1972-2013/1996/88-5.pdf
- Bolsa de valores de Santiago. (2024). *bolsadesantiago.com*. Obtenido de *bolsadesantiago.com*: https://www.bolsadesantiago.com/resumen_instrumento/LTM
- Buzzetti, M. (2005). *repositorio.uchile.cl*. Obtenido de *repositorio.uchile.cl*:
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137677>
- CIRIUM. (2024). *www.cirium.com*. Obtenido de *www.cirium.com*:
<https://www.cirium.com/thoughtcloud/cirium-monthly-on-time-performance-report-2023/>
- Cortes, D. (5 de Diciembre de 2024). *www.linkedin.com*. Obtenido de *www.linkedin.com*:
https://www.linkedin.com/posts/danielalejandrocortescontreras_resultados-tercer-trimestre-aerolineas-suramericanas-activity-7270421714449088514-wz1o?utm_source=shareCutm_medium=member_desktop
- CROSBY. (1979). https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/382c2413/Que_es_calidad-libre.pdf?1437587c25=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DQue_es_calidad.pdf&Expires=174S752S8c&Signature=Upl1JJnWynUSUyc~1PHpMYMr1ZnNcdhBgUIU1YCTgphVBwFy3ffXlfXufXo4EN0QCZxTHIEIA. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38262413/Que_es_calidad-libre.pdf?1437587625=Cresponse-content-disposition=inline%3B+filename%3DQue_es_calidad.pdfCEExpires=1749752986CSignature=Upl1JJnWynUSUyc~1PHpMYMr1ZnN6dhBgUIU1YCTgphVBwFy3ffXlfXufXo4EN0QCZxTHIEIA
- Feigenbaum. (1994). https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/382c2413/Que_es_calidad-libre.pdf?1437587c25=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DQue_es_calidad.pdf&Expires=174S752S8c&Signature=Upl1JJnWynUSUyc~1PHpMYMr1ZnNcdhBgUIU1YCTgphVBwFy3ffXlfXufXo4EN0QCZxTHIEIA. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38262413/Que_es_calidad-libre.pdf?1437587625=Cresponse-content-disposition=inline%3B+filename%3DQue_es_calidad.pdfCEExpires=1749752986CSignature=Upl1JJnWynUSUyc~1PHpMYMr1ZnN6dhBgUIU1YCTgphVBwFy3ffXlfXufXo4EN0QCZxTHIEIA
- Genichi Taguchi, S. C. (2004). *onlinelibrary.wiley.com*. Obtenido de *onlinelibrary.wiley.com*:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470258354>
- Hernández, M. (27 de Agosto de 2008). *optyestadistica.wordpress.com*. Obtenido de *optyestadistica.wordpress.com*:

- <https://optyestadistica.wordpress.com/2008/08/27/tabla-de-constantes-para-graficos-de-control/>
- JAC. (2022). *Informe de Transporte Aéreo JAC*. Obtenido de <https://www.jac.gob.cl/wp-content/uploads/2022/01/Infogr%C3%A1fico-mensual-Dic21.pdf>
- José Cantú, M. G. (2020). <https://ctes.org.mx/index.php/ctes/article/view/72c/8c8>. Obtenido de <https://ctes.org.mx/index.php/ctes/article/view/726/868>: <https://ctes.org.mx/index.php/ctes/article/view/726/868>
- Juran. (1988). https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/382c2413/Que_es_calidad-libre.pdf?1437587c25=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DQue_es_calidad.pdf&Expires=174S752S8c&Signature=Upl1JJnWynUSUyc~1PHpMYMr1ZnNcdhBgUIU1YCTgphVBwFy3ffXlfXufXo4EN0QCZxTHIEIA. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38262413/Que_es_calidad-libre.pdf?1437587625=Cresponse-content-disposition=inline%3B+filename%3DQue_es_calidad.pdfCExpires=1749752986CSignature=Upl1JJnWynUSUyc~1PHpMYMr1ZnN6dhBgUIU1YCTgphVBwFy3ffXlfXufXo4EN0QCZxTHIEIA
- LATAM. (2023). www.latamairlines.com. Obtenido de www.latamairlines.com: <https://www.latamairlines.com/cl/es/sobre-latam/historia>
- LATAM. (2023). www.latamairlinesgroup.net. Obtenido de www.latamairlinesgroup.net: <https://www.latamairlinesgroup.net/es/ownership-structure>
- LATAM AIRLINES. (09 de Noviembre de 2024). <https://www.latamairlinesgroup.net/es/results-center>. Obtenido de <https://www.latamairlinesgroup.net/es/results-center>: <https://www.latamairlinesgroup.net/es/results-center>
- LATAM Airlines. (2024). *Sostenibilidad LATAM*. Obtenido de <https://www.latamairlines.com/cl/es/sostenibilidad>
- Marion Hutchinson, S. L. (2007). An Investigation of Factors Influencing the Association between Top Management Ownership and Earnings Management. *Journal of Contemporary Accounting & Economics*, 130-153.
- Mc Graw Hill México. (2005). ns2.clea.edu.mx. Obtenido de ns2.clea.edu.mx: <https://ns2.clea.edu.mx/biblioteca/files/original/56cf64337c2fcc05d6a9120694e36d82.pdf>
- Mehmet Tolga, B. S. (Junio de 2007). www.researchgate.net. Obtenido de www.researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/235251471_An_overview_of_six_sigma_applications_in_healthcare_industry
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. (1 de 2023). www.mtt.gob.cl. Obtenido de www.mtt.gob.cl: <https://www.mtt.gob.cl/archivos/33574>

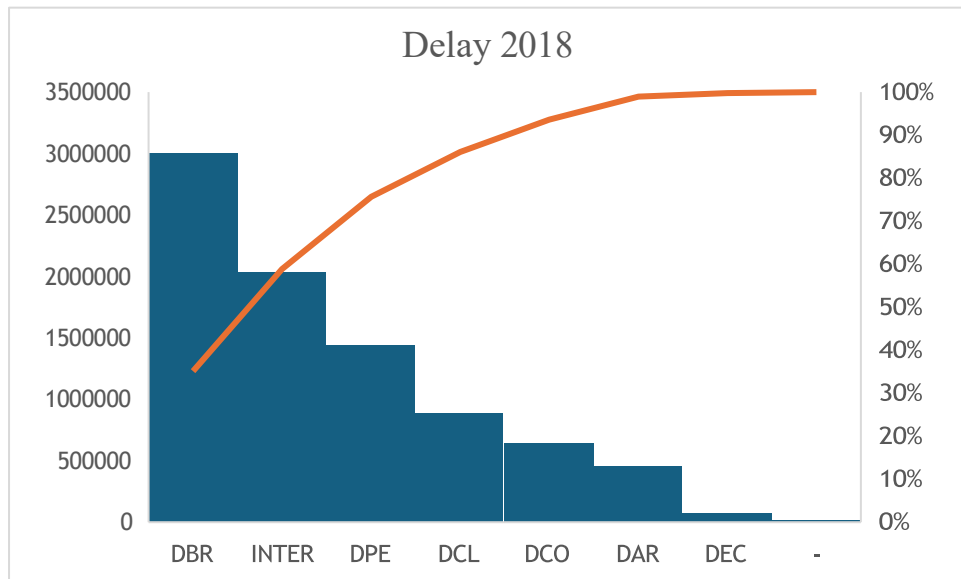
- Olivares, C. O. (Enero de 2016). *repositorio.uchile.cl*. Obtenido de repositorio.uchile.cl:
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/138692/Valoraci%C3%B3n%20de%20empresas%20Latam%20S.A..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peña, D. (1989). *dokumen.pub*. Obtenido de dokumen.pub:
<https://dokumen.pub/fundamentos-de-estadistica-9788420688770.html>
- Peter Belobaba, A. O. (2009). *www.academia.edu*. Obtenido de www.academia.edu:
https://www.academia.edu/40819640/THE_GLOBAL_AIRLINE_INDUSTRY?auto=download
- Salazar, B. (19 de 10 de 2019). *https://ingenieriaindustrialonline.com*. Obtenido de <https://ingenieriaindustrialonline.com>: <https://ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-calidad/funcion-de-perdida-de-calidad-taguchi/>
- Sapag, J. (2014). *campusvirtual.icap.ac.cr*. Obtenido de campusvirtual.icap.ac.cr:
https://campusvirtual.icap.ac.cr/pluginfile.php/206834/mod_resource/content/2/Sapag%20N.%20et%20al%20%282014%29%20Preparaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20Proyectos.%20Sexta%20Edici%C3%B3n.%2C%20pp.%2052-61.pdf
- SERNAC. (14 de 02 de 2024). *https://www.sernac.cl*. Obtenido de <https://www.sernac.cl>:
<https://www.sernac.cl/portal/604/w3-article-78946.html>
- SKYMART. (2024). *skymartsales*. Obtenido de skymartsales.com:
<https://skymartsales.com/glossary/cask.php#:~:text=CASK%20%E2%80%93%20Cost%20of%20Available%20Seat%20Kilometer%20is%20used%20to%20measure,it's%20easier%20to%20earn%20revenue.>
- SKYMART. (2024). *skymartsales.com*. Obtenido de skymartsales.com:
<https://skymartsales.com/glossary/ask.php>

ANEXO

Anexo N°1: Estructura de Propiedad de LATAM Airlines Group S.A al 30 de septiembre del 2023.

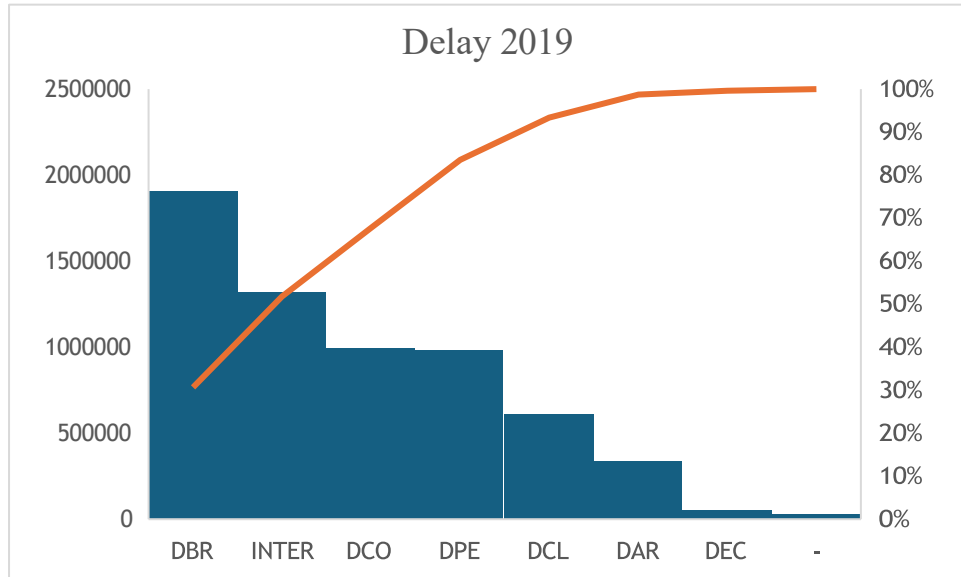
Nombre	Acciones suscritas y pagadas	Propiedad (%)
Bco. de Chile por cuenta de State Street	268.721.946.716	44%
Bco. de Chile por cuenta de terceros	79.116.029.392	13%
Delta Airlines	60.722.284.826	10%
Qatar Airways	60.640.769.249	10%
Grupo Cueto	30.389.446.225	5%
AFPs	12.959.452.909	2%
Otros	91.887.948.270	15%

Anexo N°2: Diagrama de Pareto que indica incidencia de Delay de LATAM por negocio en 2018.



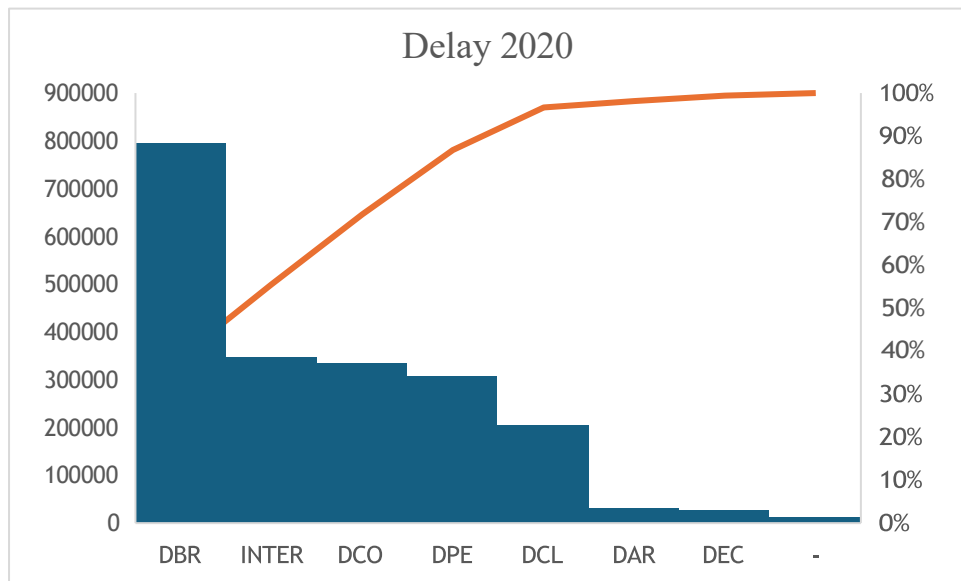
Fuente: Elaboración propia mediante datos internos de LATAM Airlines.

Anexo N°3: Diagrama de Pareto que indica incidencia de Delay de LATAM por negocio en 2019.



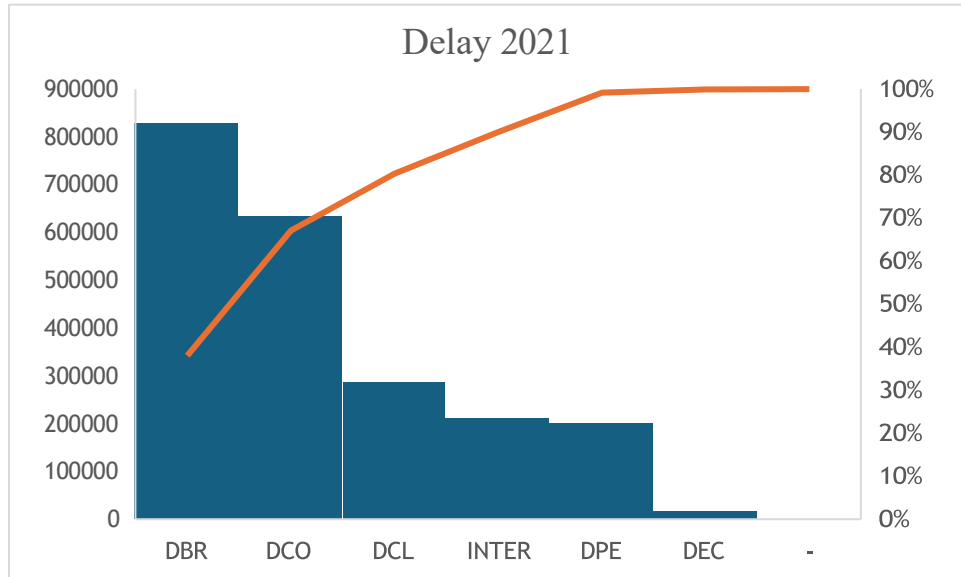
Fuente: Elaboración propia mediante datos internos de LATAM Airlines.

Anexo N°4: Diagrama de Pareto que indica incidencia de Delay de LATAM por negocio en 2020.



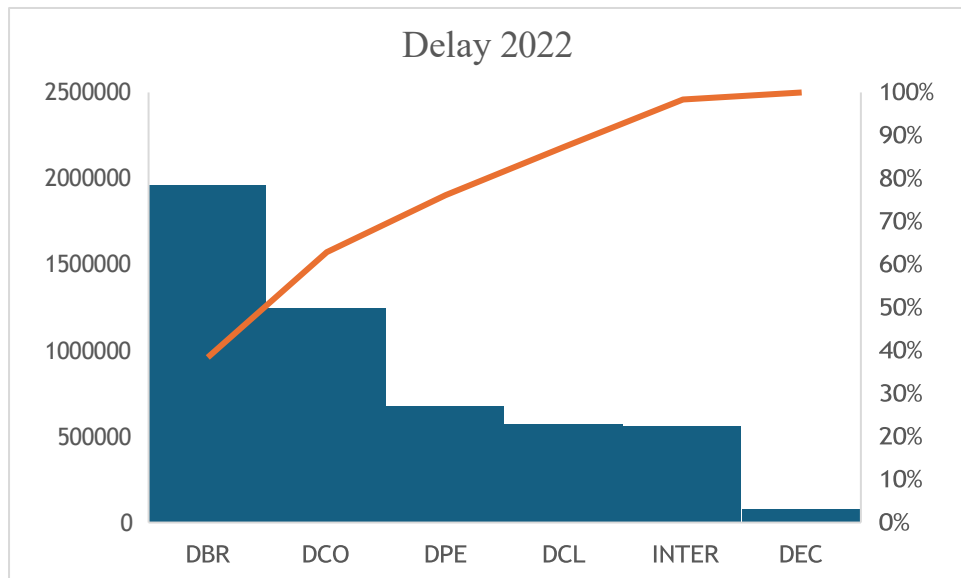
Fuente: Elaboración propia mediante datos internos de LATAM Airlines.

Anexo N°5: Diagrama de Pareto que indica incidencia de Delay de LATAM por negocio en 2021.



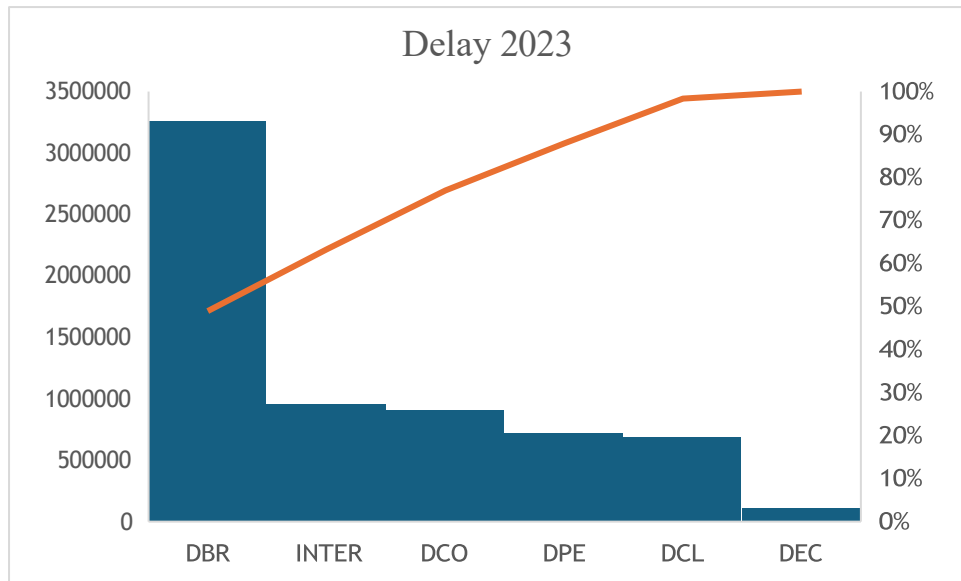
Fuente: Elaboración propia mediante datos internos de LATAM Airlines.

Anexo N°6: Diagrama de Pareto que indica incidencia de Delay de LATAM por negocio en 2022.



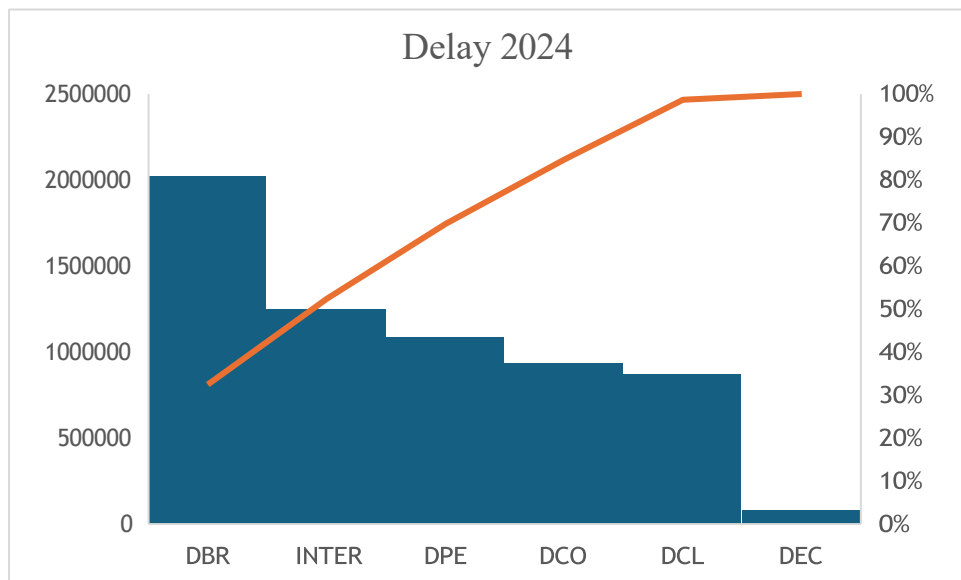
Fuente: Elaboración propia mediante datos internos de LATAM Airlines.

Anexo N°7: Diagrama de Pareto que indica incidencia de Delay de LATAM por negocio en 2023.



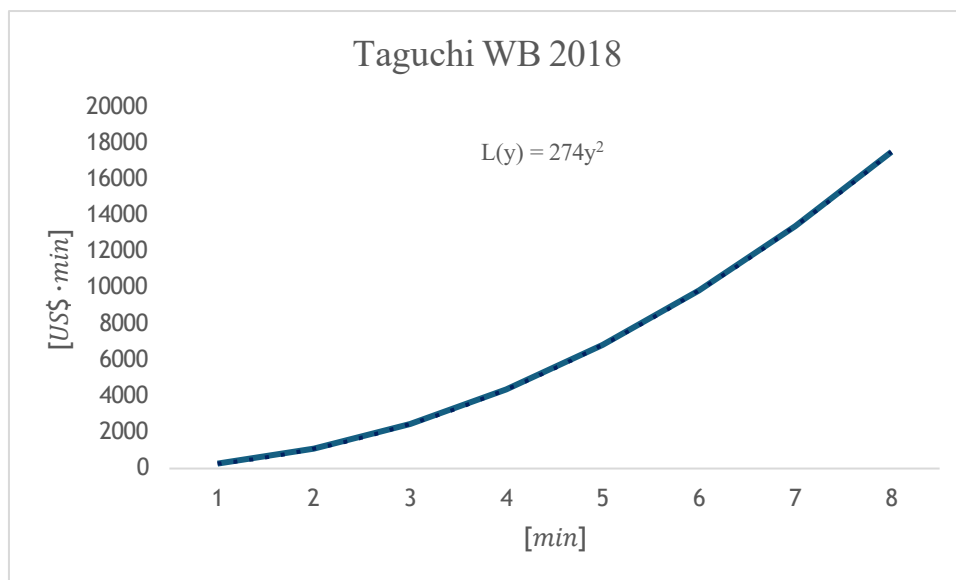
Fuente: Elaboración propia mediante datos internos de LATAM Airlines.

Anexo N°8: Diagrama de Pareto que indica incidencia de Delay de LATAM por negocio en 2024 (Ene-Oct).



Fuente: Elaboración propia mediante datos internos de LATAM Airlines.

Anexo N°9: Función de pérdida de Taguchi para flota WB el 2018.



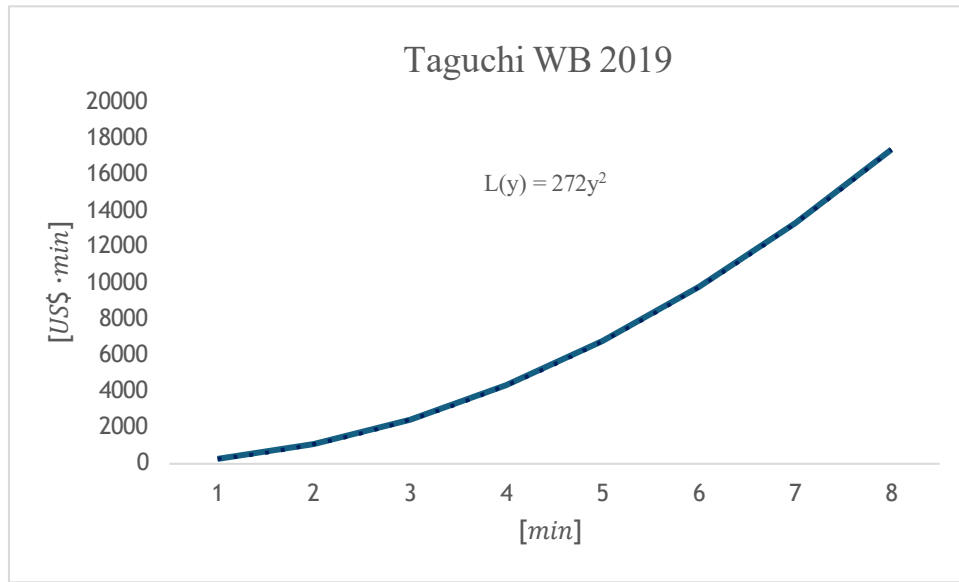
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°10: Tabla con datos necesarios para el anexo N°9

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,16	273,93	0,00	0
0,16	273,93	273,93	1
0,16	273,93	1095,73	2
0,16	273,93	2465,38	3
0,16	273,93	4382,90	4
0,16	273,93	6848,28	5
0,16	273,93	9861,53	6
0,16	273,93	13422,63	7
0,16	273,93	17531,60	8

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°11: Función de pérdida de Taguchi para flota WB el 2019.



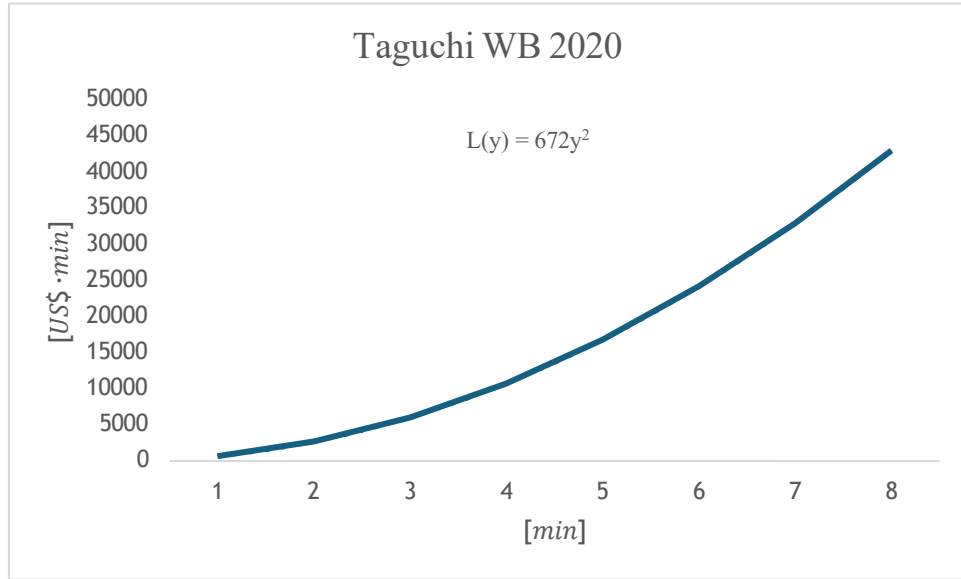
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°12: Tabla con datos necesarios para el anexo N°11.

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,16	271,88	0,00	0
0,16	271,88	271,88	1
0,16	271,88	1087,53	2
0,16	271,88	2446,94	3
0,16	271,88	4350,11	4
0,16	271,88	6797,05	5
0,16	271,88	9787,76	6
0,16	271,88	13322,22	7
0,16	271,88	17400,45	8

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°13: Función de pérdida de Taguchi para flota WB el 2020.



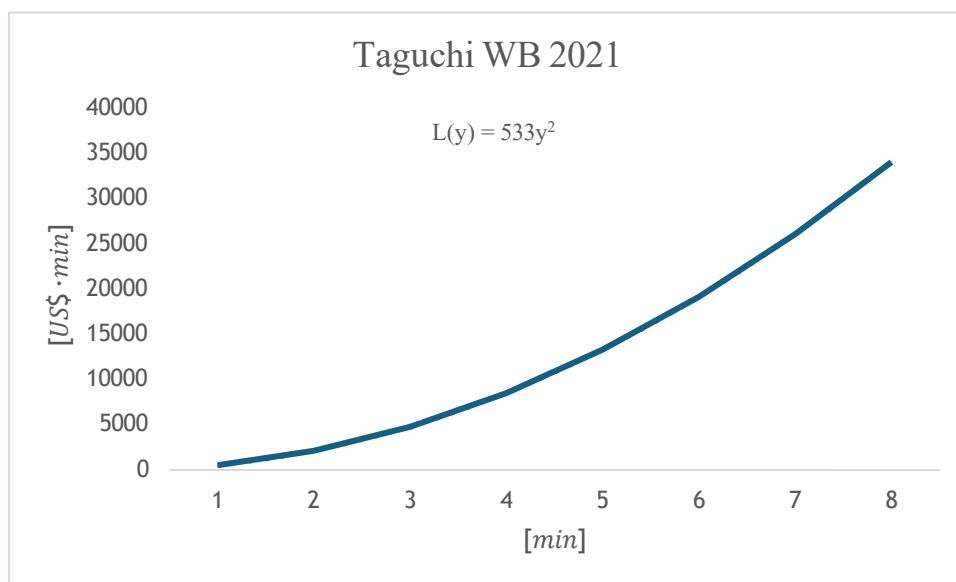
Fuente: Elaboración propia

Anexo N°14: Tabla con datos necesarios para el anexo N°13.

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,1	671,50	0,0	0
0,1	671,50	671,5	1
0,1	671,50	2686,0	2
0,1	671,50	6043,5	3
0,1	671,50	10744,1	4
0,1	671,50	16787,6	5
0,1	671,50	24174,1	6
0,1	671,50	32903,7	7
0,1	671,50	42976,2	8

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°15: Función de pérdida de Taguchi para flota WB el 2021.



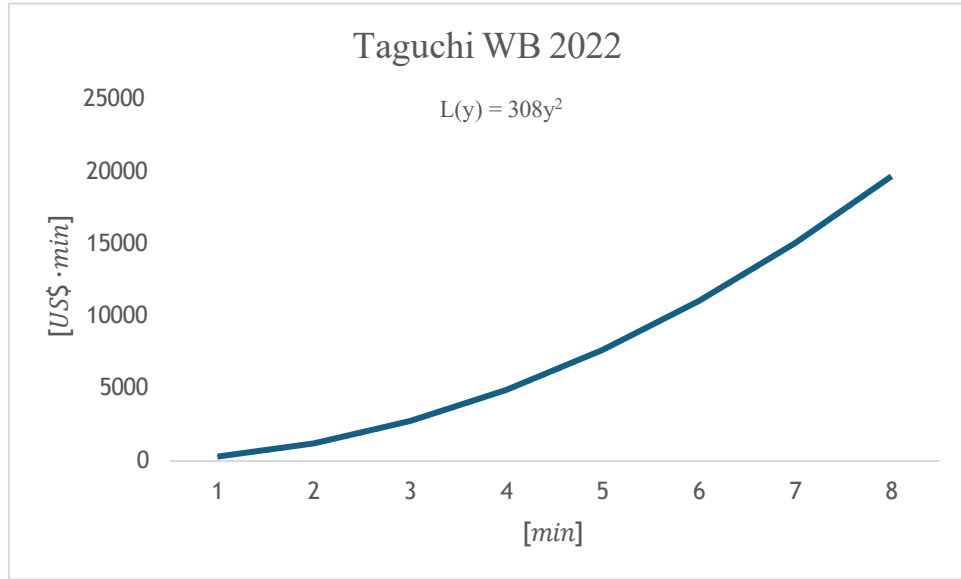
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°16: Tabla con datos necesarios para el anexo N°15.

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,12	532,74	0,0	0
0,12	532,74	532,7	1
0,12	532,74	2131,0	2
0,12	532,74	4794,7	3
0,12	532,74	8523,8	4
0,12	532,74	13318,5	5
0,12	532,74	19178,6	6
0,12	532,74	26104,2	7
0,12	532,74	34095,3	8

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°17: Función de pérdida de Taguchi para flota WB el 2022.



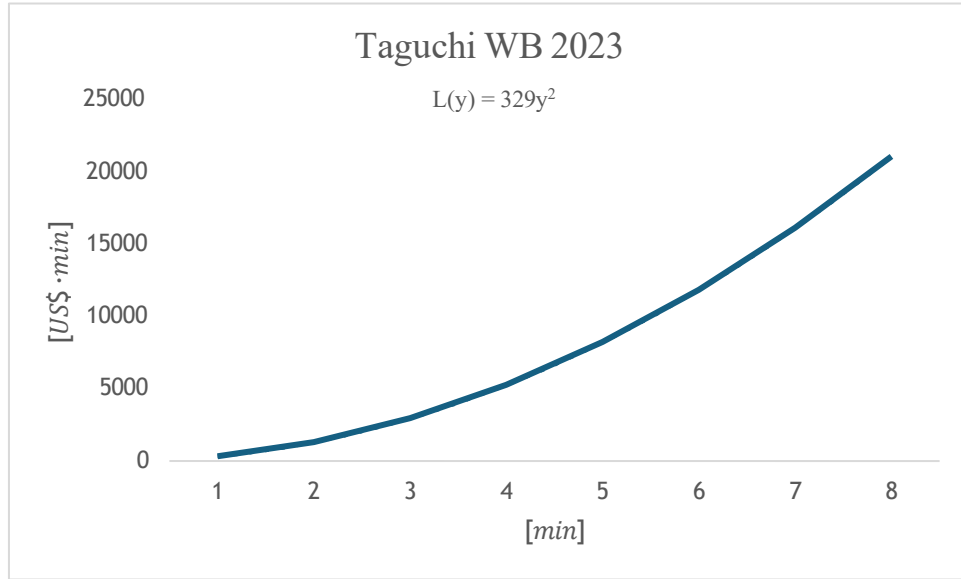
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°18: Tabla con datos necesarios para el anexo N°17.

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,16	307,89	0,0	0
0,16	307,89	307,9	1
0,16	307,89	1231,5	2
0,16	307,89	2771,0	3
0,16	307,89	4926,2	4
0,16	307,89	7697,2	5
0,16	307,89	11083,9	6
0,16	307,89	15086,4	7
0,16	307,89	19704,7	8

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°19: Función de pérdida de Taguchi para flota WB el 2023.



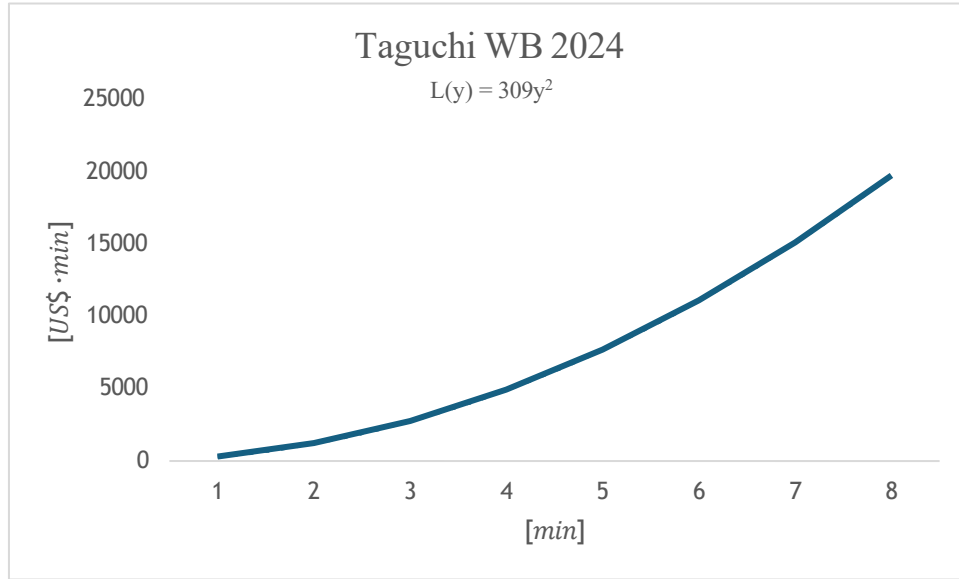
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°20: Tabla con datos necesarios para el Gráfico N°19.

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,16	329,38	0,0	0
0,16	329,38	329,4	1
0,16	329,38	1317,5	2
0,16	329,38	2964,4	3
0,16	329,38	5270,0	4
0,16	329,38	8234,4	5
0,16	329,38	11857,6	6
0,16	329,38	16139,5	7
0,16	329,38	21080,2	8

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°21: Función de pérdida de Taguchi para flota WB el 2024.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°22: Tabla con datos necesarios para el Gráfico N°21.

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,14	308,80	0,0	0
0,14	308,80	308,8	1
0,14	308,80	1235,2	2
0,14	308,80	2779,2	3
0,14	308,80	4940,8	4
0,14	308,80	7720,0	5
0,14	308,80	11116,8	6
0,14	308,80	15131,2	7
0,14	308,80	19763,2	8

Fuente: Elaboración propia.

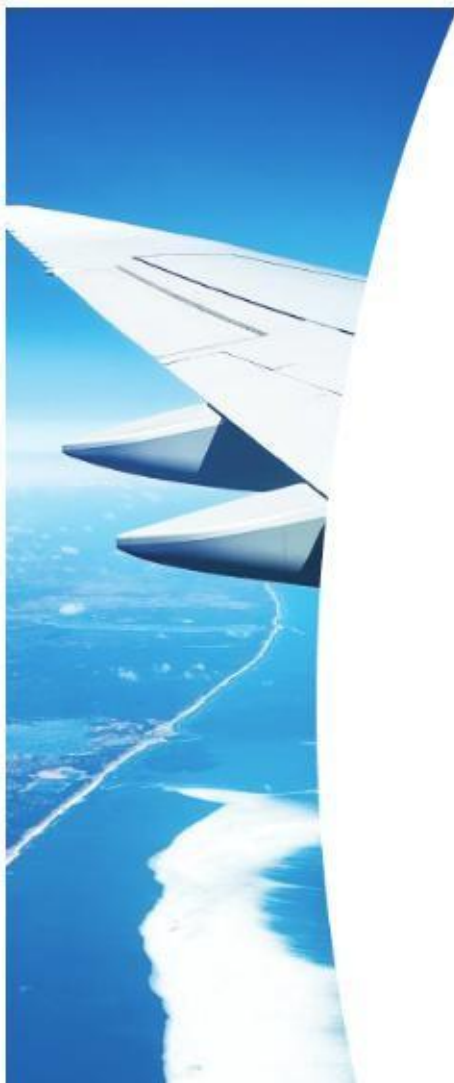
Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Ciencias Aeronáuticas

Anexo N°23: Tabla con resultado e indicadores operativo de líneas aérea latinoamericanas 2024.

Airline	AVIANCA		LATAM		COPA	
	2024	2023	2024	2023	2024	2023
Metric						
Passenger	\$ 3.263.125	\$ 2.932.688	\$ 8.365.830	\$ 7.367.476		
Cargo	\$ 544.761	\$ 550.648	\$ 1.129.871	\$ 1.061.564		
Others	\$ -	\$ -	\$ 142.831	\$ 108.947		
Operating Revenue	\$ 3.807.886	\$ 3.483.336	\$ 9.638.532	\$ 8.537.987		
Operating Cost	\$ 3.405.015	\$ 3.046.363	\$ 8.441.605	\$ 7.562.544		
Operating Income	\$ 402.871	\$ 436.973	\$ 1.196.927	\$ 975.443		
Net Income	\$ 8.361	\$ 85.779	\$ 731.986	\$ 568.004		
Operating Cash Flow	\$ 658.867	\$ 754.788	\$ 2.115.260	\$ 1.558.263		
Investment Cash Flow	\$ (212.166)	\$ (353.944)	\$ (640.398)	\$ (337.992)		
Financing Cash Flow	\$ (319.822)	\$ (486.955)	\$ (1.113.678)	\$ (832.143)		
Net Cash Flow	\$ 126.879	\$ (86.111)	\$ 361.184	\$ 388.128		
Free Cash Flow						
Depreciation	\$ 385.375	\$ 333.229	\$ 1.045.036	\$ 882.420		
EBITDA	\$ 788.246	\$ 770.202	\$ 2.241.963	\$ 1.857.863		
EBITDA Margin	20,70%	22,11%	23,26%	21,76%		
Total Debt	\$ 5.189.854	\$ 4.771.610	\$ 7.108.221	\$ 6.936.188	\$ 1.900.000	
Interest Expense	\$ (411.849)	\$ (377.071)	\$ (575.562)	\$ (510.759)		
ASK (mill)	47.622	39.825	116.909	100.570		
RPK (mill)	38.905	32.853	98.056	82.808		
Passenger mile yield	\$ 8,39	\$ 8,93	\$ 8,53	\$ 8,90	\$ 12,20	\$ 13,40
Passenger revenue per available seat mile ("PRASK")	\$ 6,85	\$ 7,36	\$ 7,16	\$ 7,33	\$ 10,50	\$ 11,70
Total revenue per available seat mile ("TRASK")	\$ 8,00	\$ 8,75	\$ 8,24	\$ 8,49	\$ 11,00	\$ 12,20
Cost per available seat mile ("CASK")	\$ 7,15	\$ 7,65	\$ 7,22	\$ 7,52	\$ 8,70	\$ 9,30
CASK-Ex (2)	\$ 4,87	\$ 5,07	\$ 4,62	\$ 4,68	\$ 5,70	\$ 5,80
Passenger load factor	81,7%	82,5%	84%	82%	86%	88%
Fuel Cost	\$ 1.085.656	\$ 1.026.271	\$ 3.039.985	\$ 2.858.583		
Maintenance Cost	\$ 152.187	\$ 133.339	\$ 582.399	\$ 428.051		
Salaries	\$ 500.942	\$ 386.524	\$ 1.226.910	\$ 1.119.580		
Landing Fees	\$ 207.402	\$ 160.569	\$ 1.107.087	\$ 953.399		
Fuel gallons consumed (in millions)			1.003	876		
Average Price Per Gallon			3,03	3,26	2,60	3,00
Approximate full-time equivalent employees, end of period			38.065	34.888		
Airplanes	163	163	344	333	110	
Departures	193.920	157.903				
DEBT/EBITDA (LTM)	3,40	3,30	2,40	2,70	0,60	
Interest/EBITDA	-52%	-49%	-26%	-27%		
PRASK	\$ 0,85	\$ 1,10	\$ 1,02	\$ 0,97	\$ 2,30	\$ 2,90

Fuente: Cortes (2024).

Anexo N°24: Reporte OTP de aerolíneas Top del último trimestre del año 2023.

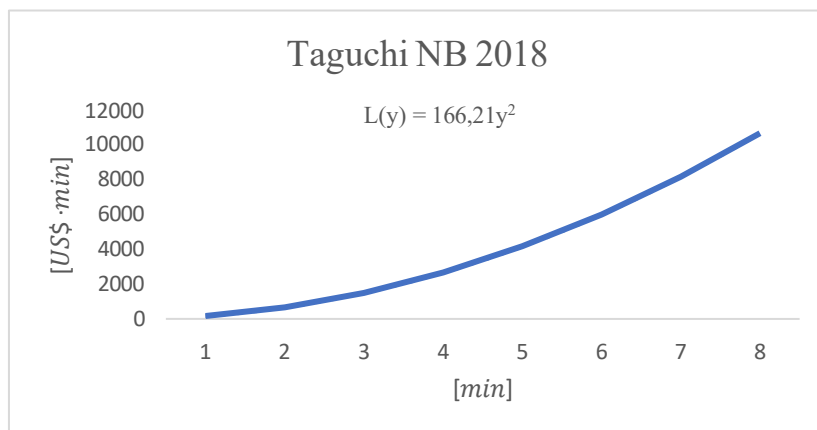


Trend Report

Airline	Dec 23	Nov 23	Oct 23
GLOBAL AIRLINE RANKING			
1 Delta Air Lines (DL)	89.57%	91.29%	90.84%
2 Qatar Airways (QR)	87.74%	86.00%	87.50%
3 United Airlines (UA)	85.80%	86.44%	86.31%
4 American Airlines (AA)	84.31%	86.65%	85.53%
5 Iberia (IB)	84.30%	82.60%	84.43%
ASIA PACIFIC REGION RANKING			
1 Thai AirAsia (FD)	84.09%	79.80%	77.58%
2 Philippine Airlines (PR)	83.06%	84.27%	82.74%
3 Singapore Airlines (SQ)	83.01%	74.37%	77.96%
4 ANA (NH)	82.59%	81.14%	85.07%
5 AirAsia (AK)	81.93%	86.68%	81.79%
NORTH AMERICA REGION RANKING			
1 Delta Air Lines (DL)	89.57%	91.29%	90.84%
2 United Airlines (UA)	85.80%	86.44%	86.31%
3 American Airlines (AA)	84.31%	86.65%	85.53%
4 Alaska Airlines (AS)	83.12%	84.50%	86.07%
5 Southwest Airlines (WN)	80.76%	84.52%	78.41%
EUROPE REGION RANKING			
1 Vueling (VY)	86.04%	86.31%	80.70%
2 Iberia Express (I2)	85.73%	83.66%	85.66%
3 Aegean Airlines (A3)	85.14%	76.97%	76.77%
4 Iberia (IB)	84.30%	82.60%	84.43%
5 Transavia France (TO)	79.07%	84.49%	78.20%
LATIN AMERICA REGION RANKING			
1 Copa Airlines (CM)	80.46%	82.30%	83.71%
2 Azul (AD)	82.35%	84.49%	82.91%
3 SA Avianca (AV)	82.19%	70.38%	86.78%
4 LATAM Airlines (LA)	81.04%	79.03%	79.30%
5 Gol (G3)	77.75%	76.83%	70.00%

Fuente: CIRIUM (2024).

Anexo N°25: Función de perdida de Taguchi para flota NB el 2018.



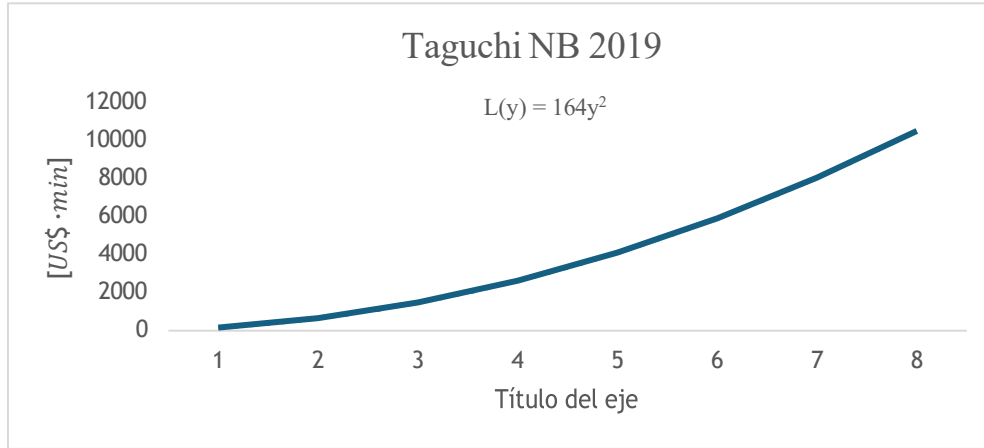
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°26: Tabla con datos necesarios para el Gráfico N°25.

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,16	166,21	0,00	0
0,16	166,21	166,21	1
0,16	166,21	664,86	2
0,16	166,21	1495,93	3
0,16	166,21	2659,42	4
0,16	166,21	4155,35	5
0,16	166,21	5983,70	6
0,16	166,21	8144,49	7
0,16	166,21	10637,70	8

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°27: Función de perdida de Taguchi para flota NB el 2019.



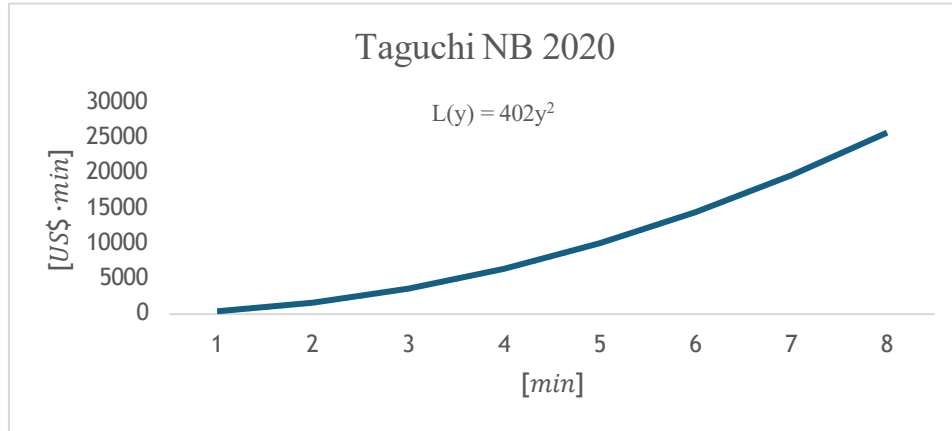
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°28: Tabla con datos necesarios para el Gráfico N°27.

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,16	163,93	0,00	0
0,16	163,93	163,93	1
0,16	163,93	655,73	2
0,16	163,93	1475,38	3
0,16	163,93	2622,91	4
0,16	163,93	4098,29	5
0,16	163,93	5901,54	6
0,16	163,93	8032,65	7
0,16	163,93	10491,62	8

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°29: Función de pérdida de Taguchi para flota NB el 2020.



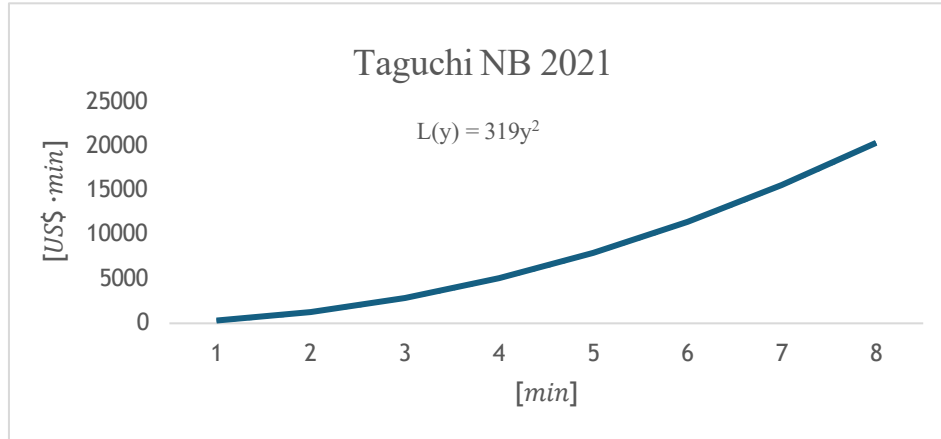
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°30: Tabla con datos necesarios para el Gráfico N°29.

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,1	401,85	0,0	0
0,1	401,85	401,9	1
0,1	401,85	1607,4	2
0,1	401,85	3616,7	3
0,1	401,85	6429,7	4
0,1	401,85	10046,4	5
0,1	401,85	14466,8	6
0,1	401,85	19690,9	7
0,1	401,85	25718,7	8

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°31: Función de pérdida de Taguchi para flota NB el 2021.



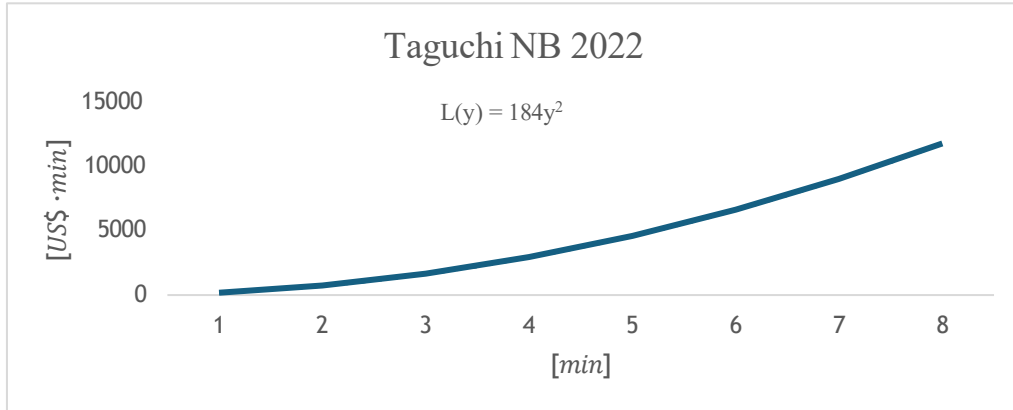
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°32: Tabla con datos necesarios para el Gráfico N°31.

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,12	318,81	0,0	0
0,12	318,81	318,8	1
0,12	318,81	1275,3	2
0,12	318,81	2869,3	3
0,12	318,81	5101,0	4
0,12	318,81	7970,3	5
0,12	318,81	11477,3	6
0,12	318,81	15621,8	7
0,12	318,81	20404,0	8

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°33: Función de perdida de Taguchi para flota NB el 2022.



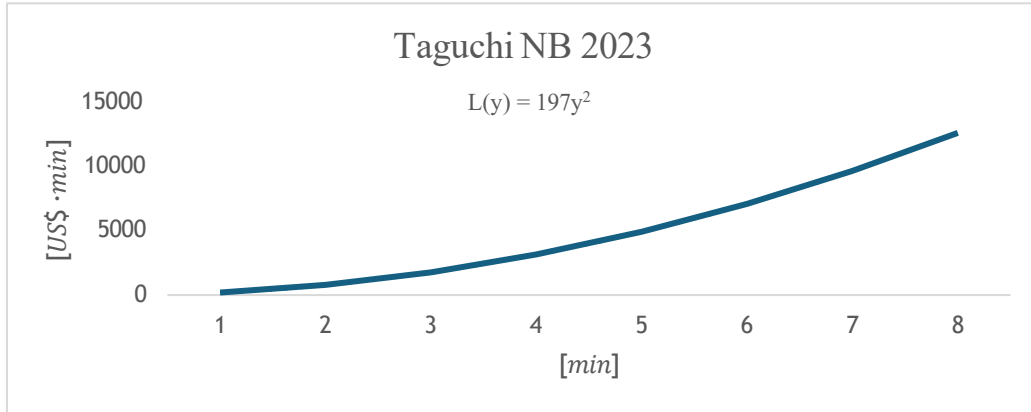
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°34: Tabla con datos necesarios para el Gráfico N°33.

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,16	184,25	0,0	0
0,16	184,25	184,3	1
0,16	184,25	737,0	2
0,16	184,25	1658,3	3
0,16	184,25	2948,0	4
0,16	184,25	4606,3	5
0,16	184,25	6633,1	6
0,16	184,25	9028,3	7
0,16	184,25	11792,1	8

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°35: Función de perdida de Taguchi para flota NB el 2023.



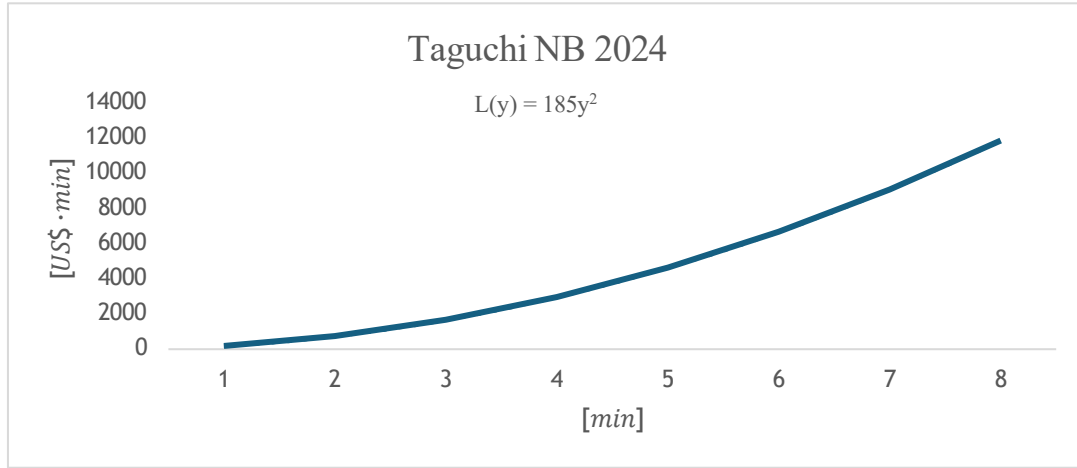
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°36: Tabla con datos necesarios para el Gráfico N°35.

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,16	197,11	0,0	0
0,16	197,11	197,1	1
0,16	197,11	788,5	2
0,16	197,11	1774,0	3
0,16	197,11	3153,8	4
0,16	197,11	4927,8	5
0,16	197,11	7096,1	6
0,16	197,11	9658,5	7
0,16	197,11	12615,2	8

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°37: Función de perdida de Taguchi para flota NB el 2024.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°38: Tabla con datos necesarios para el Gráfico N°37.

w	k [usd/min]	L(Y) [[usd*min]	y [min]
0,14	184,80	0,0	0
0,14	184,80	184,8	1
0,14	184,80	739,2	2
0,14	184,80	1663,2	3
0,14	184,80	2956,8	4
0,14	184,80	4620,0	5
0,14	184,80	6652,8	6
0,14	184,80	9055,1	7
0,14	184,80	11827,1	8

Fuente: Elaboración propia.