

**Universidad del Salvador**

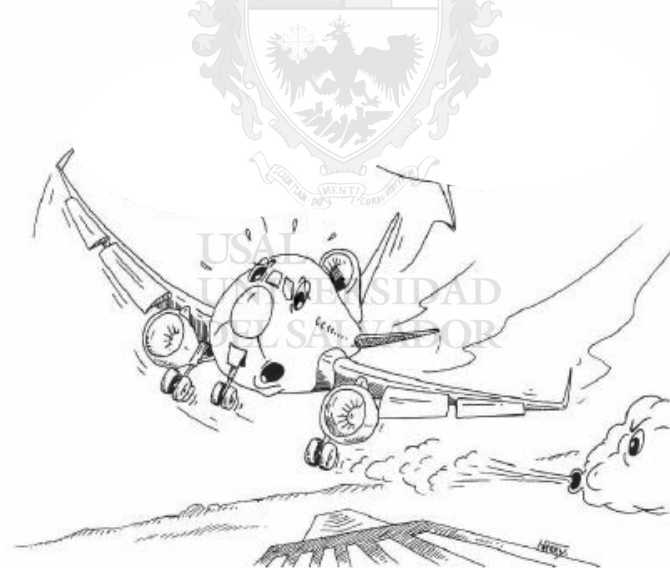
**Facultad de Ciencias de la Administración**

**SUNY, State University of New York**

**Maestría en Dirección de Calidad Total**

**Trabajo Final - Tesis**

**“APROXIMACIONES ESTABILIZADAS:  
COMPONENTE CLAVE DE UN ATERRIZAJE SEGURO”**



**Autor: Antonella S. Cavacini**

**Asesor: Profesora Ing. Ana María López**

**Año 2016**



## AVISO DE CONFIDENCIALIDAD

El material contenido en este trabajo final de la Maestría en Dirección de Calidad de la Universidad del Salvador fue elaborado con fines académicos; en el mismo se reflejó información de-identificada y los datos del proceso en el cual se aplicó la metodología DMAIC fueron presentados de manera tal que permita preservarse la confidencialidad de los mismos.

El presente trabajo está destinado únicamente a la lectura por parte del personal docente afectado a la corrección del mismo y queda prohibida su reproducción total o parcial y/o distribución a terceros.

Del mismo modo, queda prohibida su exposición ante alumnos de cualquier carrera de la Universidad del Salvador como así también, queda prohibida su distribución a otras instituciones, sin el consentimiento previo y formal de la autora.

Antonella Cavacini

Correo electrónico de contacto: [anto223@hotmail.com](mailto:anto223@hotmail.com)

## RESUMEN

La Seguridad Operacional es la prioridad número uno para la industria aeronáutica y por muchos años la “*mejora continua*” ha sido la guía principal para la gestión de la Seguridad Operacional en la aviación. Una meta primaria es mejorar la respuesta de las Tripulaciones a los eventos inesperados y no deseados que se producen en un vuelo, los cuales tienen el potencial para erosionar los márgenes entre las operaciones seguras y los accidentes.

Inevitablemente los recursos para gestionar la Seguridad Operacional son finitos y deben ser enfocados de tal manera que ofrezcan las mayores oportunidades para la prevención de accidentes. Durante el periodo 2011-2015, aproximadamente el 65% de todos los accidentes aéreos ocurrieron en la fase de aproximación y aterrizaje, y las aproximaciones desestabilizadas fueron identificadas como un factor contribuyente en el 14% de esos accidentes.

Una aproximación estabilizada es uno de los parámetros clave del vuelo que es controlado en un rango específico de valores antes que la aeronave alcance un punto predefinido en el espacio relativo al umbral de aterrizaje (estabilización de altitud o altura), y se mantiene en el rango de valores hasta el toque (*touchdown*). Los parámetros incluyen altitud, trayectoria de vuelo, velocidad, rango de descenso, potencia de motor y configuración de la aeronave. Una aproximación estabilizada asegurará, por lo tanto, que la aeronave comienza el aterrizaje a una velocidad y altitud óptimas.

La industria en su totalidad – fabricantes, autoridades regulatorias, asociaciones profesionales, proveedores de servicio de navegación

aérea, operadores, controladores y pilotos – deben adoptar una posición inequívoca en cuanto a que la única aproximación aceptable es la estabilizada, y los pilotos en particular deben tomar el desafío profesional de alcanzar esto en cada aproximación. La práctica reconocida en la industria es recomendar que una falla de la Tripulación de Vuelo para conducir una aproximación estabilizada debiera resultar en un *go-around*.

La industria ha desarrollado un número de soluciones tecnológicas para ayudar a minimizar las aproximaciones desestabilizadas y existen más en camino.

Derivado de la información anterior, se considera que al reducir las aproximaciones desestabilizadas, se puede reducir el riesgo de tener un accidente en la fase de aproximación y aterrizaje.

El propósito de este trabajo es analizar el evento de las aproximaciones desestabilizadas, identificando las amenazas que inducen a los Pilotos a cometer errores durante la fase de aproximación y aterrizaje, que derivan en un estado no deseado de aproximación desestabilizada y proponer barreras defensivas en el proceso de la operación de vuelo que permitan reducir el riesgo de ejecutar una aproximación desestabilizada y un consecuente accidente aéreo.

El trabajo se basó en la información de tendencias de aproximaciones desestabilizadas, obtenida a través del proceso de monitoreo de datos de vuelo (*Flight Data Monitoring*) en una línea aérea que opera en Argentina durante el año 2015 y en la mejora y control de dicho proceso implementada en el primer semestre del año 2016.

La metodología implementada fue DMAIC, una abreviatura formada con las iniciales de los nombres de las cinco fases del método:

D = Definir (*Define*)

Antonella S. Cavacini  
Trabajo Final – Tesis Año 2016  
Aproximaciones Estabilizadas: Componente clave de un aterrizaje seguro

M = Medir (*Measure*)

A = Analizar (*Analyze*)

I = Mejorar (*Improve*)

C = Controlar (*Control*)

En la fase DEFINIR se describió en detalle el problema y se elaboró un *Project Charter* teniendo en cuenta la estrategia del negocio y las variables críticas. Además, se realizó un *Quality Function Deployment* (QFD) para traducir las necesidades de los clientes del proceso en requisitos asociados a cada fase.

En la fase MEDIR se presentó el desempeño actual del proceso, identificando las variables críticas con el objetivo de conocer mejor el problema. Las herramientas usadas fueron el mapa del proceso y gráficos de barras.

En la fase ANALIZAR se analizaron las causas del problema, mediante un análisis cualitativo de los gráficos elaborados en la fase anterior, aplicando “Los Cinco Por Qué?”, Diagrama causa efecto (Ishikawa) y el Análisis Modal de Fallas y Efectos (AMFE).

En la fase MEJORAR se encontraron y aplicaron mejoras, generando ideas por medio de técnicas como el *brainstorming* y opiniones de expertos en Seguridad Operacional, sumado a las mejores prácticas de la industria. Las mejoras estuvieron concentradas en revisión de procedimientos, capacitación de Pilotos, incremento de las herramientas tecnológicas sumando Analistas para entregar los resultados del proceso a término a los clientes y usuarios de la información y acciones de promoción y difusión. Las soluciones encontradas se aplicaron al proceso.

En la fase CONTROLAR se monitorearon los resultados mediante indicadores de gestión de riesgo del proceso y un plan de control que se implementó con una periodicidad mensual.

Luego de la implementación de la metodología DMAIC se consignaron los resultados más importantes y las principales conclusiones derivadas del trabajo.



## ÍNDICE GENERAL

<b>PORTADA</b>	1
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD</b>	2
<b>RESUMEN</b>	3
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	7
<b>INTRODUCCIÓN</b>	9
<b>MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES</b>	18
EVOLUCIÓN DEL PENSAMIENTO SOBRE SEGURIDAD	
OPERACIONAL	19
CAUSALIDAD DE LOS ACCIDENTES – EL MODELO DE	
REASON	25
EL ACCIDENTE DE LA ORGANIZACIÓN	29
LAS PERSONAS, EL CONTEXTO Y LA SEGURIDAD	
OPERACIONAL- EL MODELO SHELL	32
ERRORES Y VIOLACIONES	44
INVESTIGACIÓN DE SEGURIDAD OPERACIONAL	61
SEGURIDAD OPERACIONAL Y SISTEMAS DE GESTIÓN	62
NECESIDAD DE GESTIONAR LA	
SEGURIDAD OPERACIONAL	64
ESTRATEGIAS PARA LA GESTIÓN DE LA SEGURIDAD	
OPERACIONAL	75
PROCESO DE MONITOREO Y	
ANÁLISIS DE DATOS DE VUELO	82
APROXIMACIONES ESTABILIZADAS	95
<b>DESARROLLO DEL ESTADO DEL ARTE DE LA CUESTIÓN</b>	99
<b>CAPÍTULO I: DEFINIR</b>	99
<i>PROJECT CHARTER</i>	101
<i>QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)</i>	106
<b>CAPÍTULO II: MEDIR</b>	109

MAPA DE PROCESOS .....	111
CLIENTES DEL PROCESO Y	
PERIODICIDAD DE ENTREGA DE LOS PRODUCTOS .....	115
GRÁFICOS DE BARRAS .....	116
<b>CAPÍTULO III: ANALIZAR</b> .....	120
DIAGRAMA CAUSA EFECTO (ISHIKAWA) .....	122
“LOS CINCO ¿POR QUÉS?” .....	125
ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS (AMFE) .....	126
COSTOS DE NO CALIDAD .....	127
COSTOS DE LOS ACCIDENTES AÉREOS .....	28
COSTOS DE LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES .....	130
<b>CAPÍTULO IV: MEJORAR</b> .....	132
<i>BRAINSTORMING</i> O “TORMENTA DE IDEAS” .....	134
MEJORES PRÁCTICAS DE LA INDUSTRIA (ESTUDIOS	
COMPARATIVOS O “ <i>BENCHMARKING</i> ”) .....	135
OPINIONES DE EXPERTOS EN SEGURIDAD OPERACIONAL	
(MÉTODO DELPHI) .....	137
<b>CAPÍTULO V: CONTROLAR</b> .....	144
INDICADORES DE GESTIÓN DE RIESGO Y	
PLAN DE CONTROL MENSUAL .....	146
MEJORA CONTINUA PLANIFICADA PARA EL AÑO 2017 ...	148
<b>RESULTADOS</b> .....	154
OBJETIVOS CUMPLIDOS Y PRONÓSTICO FAVORABLE	
PARA EL PRÓXIMO AÑO .....	154
<b>CONCLUSIONES</b> .....	156
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	160
<b>GLOSARIO</b> .....	162
ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS .....	162
DEFINICIONES .....	166
<b>APÉNDICE I: LAS SALIDAS DE PISTA EN IMÁGENES</b> .....	177

Antonella S. Cavacini  
Trabajo Final – Tesis Año 2016  
Aproximaciones Estabilizadas: Componente clave de un aterrizaje seguro



## INTRODUCCIÓN

La información de Seguridad Operacional derivada de la base de datos de accidentes de IATA (*International Air Transport Association*) muestra que las fases de aproximación y aterrizaje contabilizan la mayor proporción de todos los accidentes de aeronaves comerciales: 65% del total de accidentes registrados en el periodo 2011-2015. Las aproximaciones desestabilizadas fueron identificadas como un factor contribuyente en el 14% de esos accidentes.

Numerosos factores contribuyentes pueden ser identificados en cada accidente, pero los accidentes en las fases de aproximación y aterrizaje son frecuentemente precedidos por una aproximación pobremente ejecutada y consecuentemente desestabilizada, junto a la falla del piloto para iniciar un *go-around*.

La comunidad de la aviación tuvo que reconocer que establecer y mantener una aproximación estabilizada es el principal factor contribuyente para que cualquier vuelo concluya de manera segura. La aeronave debe tener la correcta configuración, altitud, velocidad, potencia y estar en la posición correcta sobre la pista para darle a los pilotos la mejor oportunidad de hacer un aterrizaje seguro. Cada uno de estos criterios de desempeño debe estar dentro de un rango específico de valores dentro de la aproximación final para que la aproximación sea considerada “estabilizada”. Las líneas aéreas deben primero definir los criterios que requieren para una aproximación estabilizada, basados en sus tipos de aeronaves, requerimientos operacionales, condiciones meteorológicas y márgenes aceptables de seguridad operacional. Los operadores deben declarar una política de estricto cumplimiento con los criterios de aproximación estabilizada, desarrollar procedimientos y

entrenamiento para sostener esta política y usar los datos de vuelo para monitorear la adherencia a la política en las operaciones rutinarias.

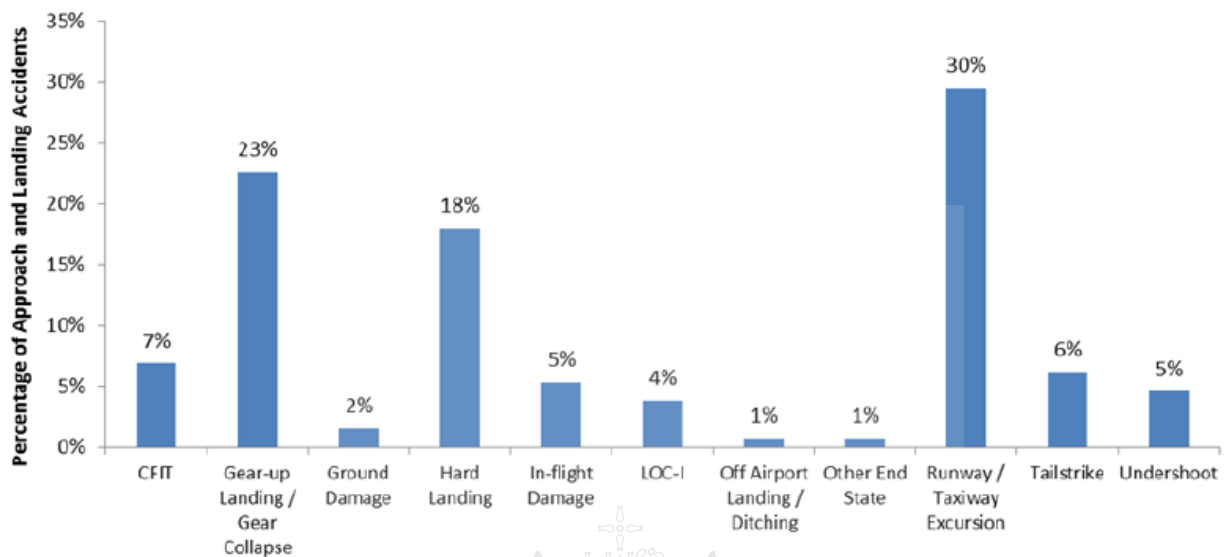
Se requiere de un enfoque multidisciplinario, a través de la colaboración y la comunicación entre todas las partes interesadas (*stakeholders*) de la industria, para implementar políticas efectivas de aproximaciones estabilizadas e identificar mejores prácticas.

La Asociación Internacional del Transporte Aéreo (IATA), en colaboración con la Federación Internacional de Pilotos de Líneas Aéreas (IFALPA), la Federación Internacional de Controladores de Tránsito Aéreo (IFATCA) y la Organización Civil de Servicios de Navegación Aérea (CANSO), gestionan recomendaciones y lineamientos para ayudar en la prevención de aproximaciones desestabilizadas y por lo tanto, contribuyen en la reducción de accidentes de aproximación y aterrizaje. Se comparten a continuación las principales conclusiones que surgen del análisis de la información publicada por estas organizaciones.

### **Análisis de la información proveniente de la industria**

De un total de 407 accidentes de aeronaves comerciales a nivel mundial registrados en la base de datos de IATA durante el periodo de 2011 a 2015, 267 o el 65% ocurrieron durante la fase de aproximación y aterrizaje y 31 de ellos involucraron fatalidades.

Como se puede ver en el análisis, existe el riesgo que los accidentes que derivan en muerte, heridas graves y daños a la aeronave puedan ocurrir durante las fases de aproximación y aterrizaje. Estos accidentes incluyen salidas de pista, *Gear Up Landing/ Gear Collapse*, aterrizajes bruscos, *Controlled Flight Into Terrain (CFIT)* y otros tipos que se ilustran en la figura 1.



**Figura 1. Distribución de las categorías de accidentes que ocurren durante la aproximación y el aterrizaje**

**Fuente: IATA**

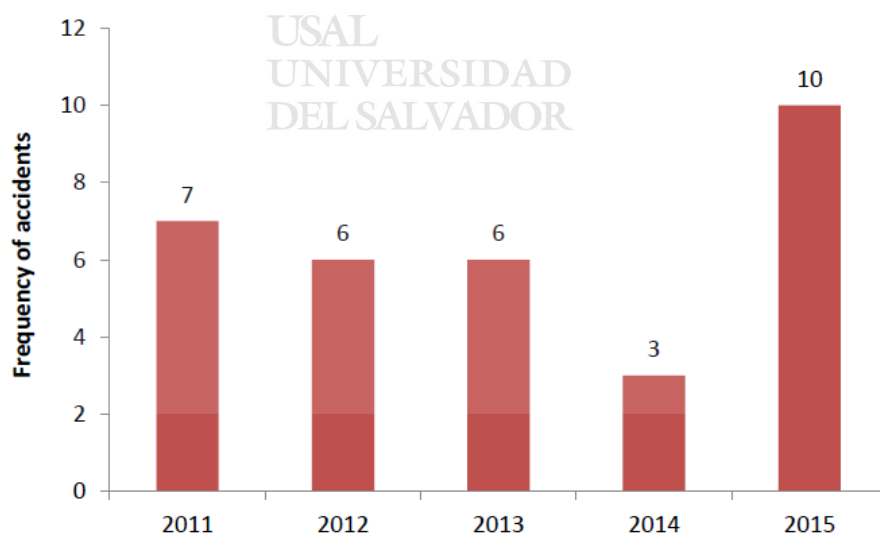
Las aproximaciones estabilizadas incrementan significativamente las chances de un aterrizaje seguro. Asegurar una aproximación estabilizada es la primera línea de defensa disponible para las Tripulaciones para prevenir accidentes en las fases críticas de aproximación y aterrizaje. Después que se cruza esta primera línea de defensa, la habilidad para realizar un *go around* es un factor crítico en prevenir un resultado no deseado durante o después de la aproximación.

En el periodo 2011-2015, el 65% de los accidentes ocurridos durante las fases de aproximación y aterrizaje ocasionaron diferentes tipos de accidentes. En términos generales, alrededor del 14% de esos accidentes ocurrieron con la presencia de una aproximación desestabilizada, generalmente relacionada con el control de la energía de la aeronave, sin haberse ejecutado un *go around*.

En el 7% (o 32 accidentes) del total de los accidentes ocurridos en el periodo 2011- 2015, las aproximaciones desestabilizadas fueron un factor contribuyente. El análisis reveló que las aproximaciones desestabilizadas resultaron en:

- Controlled Flight Into Terrain (CFIT) 6%
- Hard Landing 41%
- In-flight Damage 3%
- Loss of Control In-flight 9%
- Runway / Taxiway Excursion 31%
- Tailstrike 6%
- Undershoot 3%

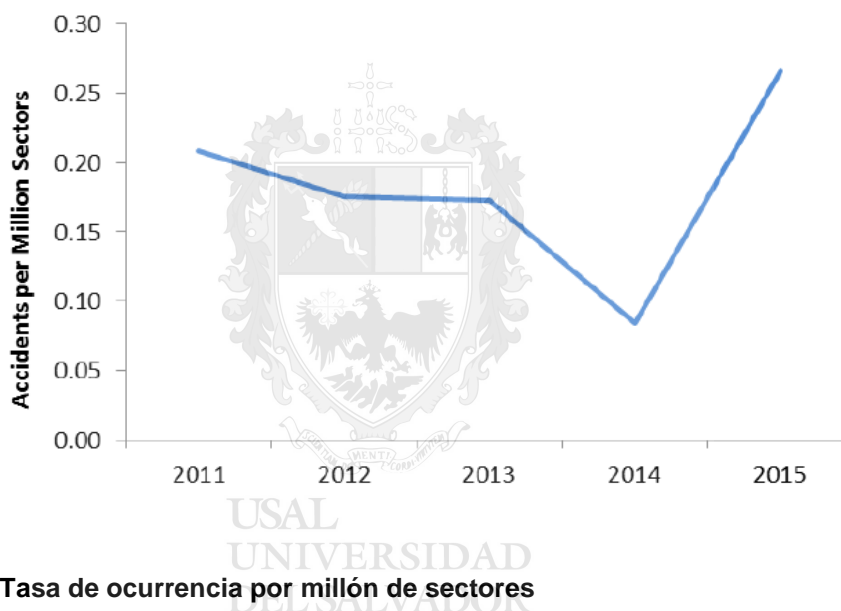
En promedio, se producen cerca de 6 (seis) accidentes por año. La Figura 2, más abajo, ilustra la frecuencia de eventos que tuvieron una aproximación desestabilizada como factor contribuyente, en cada año del periodo considerado.



**Figura 2. Frecuencia de accidentes que tuvieron una aproximación desestabilizada como factor contribuyente**

**Fuente: IATA**

Los números absolutos de accidentes no son necesariamente buenos indicadores del desempeño de la Seguridad Operacional en la industria y están limitados a valores comparativos, a menos que podamos normalizarlos con el número de sectores o tramos volados (*legs*) por año, para crear una tasa de accidentes. La Figura 3 muestra la tendencia en las tasas de ocurrencia por millón de sectores volados, por año.



**Figura 3. Tasa de ocurrencia por millón de sectores**

**Fuente: IATA**

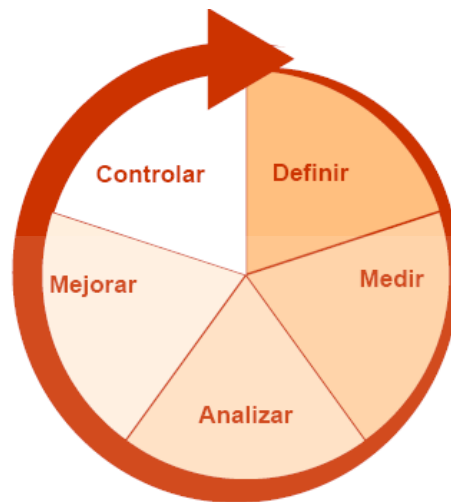
Se llevaron adelante muchos estudios con respecto a las aproximaciones desestabilizadas y los accidentes en las fases de aproximación y aterrizaje utilizando diferentes fuentes de información, definiciones y lógica analítica. Sin embargo, los hallazgos de estos estudios consistentemente concluyen en que las aproximaciones desestabilizadas han sido y continúan siendo un factor significativo en la alta proporción de los accidentes aéreos en aeronaves comerciales.

Por lo tanto, tal como se mencionó en el Resumen precedente, el propósito de este trabajo es analizar el evento de las aproximaciones desestabilizadas, identificando las amenazas que inducen a los Pilotos a cometer errores durante la fase de aproximación y aterrizaje, que derivan en un estado no deseado de aproximación desestabilizada y proponer barreras defensivas en el proceso de la operación de vuelo que permitan reducir el riesgo de ejecutar una aproximación desestabilizada y un consecuente accidente de salida de pista.

El trabajo se basó en la información del año 2015 de tendencias de aproximaciones desestabilizadas, obtenida a través del proceso de monitoreo de datos de vuelo (*Flight Data Monitoring*) en una línea aérea que opera vuelos regulares y chárteres para el transporte comercial de pasajeros y carga en el espacio aéreo delimitado geográficamente por el continente americano y en la mejora y control de dicho proceso implementada en el año 2016.

Con el objetivo de brindar un contexto de referencia para interpretar los resultados del trabajo, el marco teórico se enfoca en explicar el concepto de Seguridad Operacional, las teorías y los enfoques en la evolución del pensamiento sobre la Seguridad Operacional, el análisis de la causalidad de los accidentes, desde la perspectiva de los modelos de *Reason* y *SHELL*, la diferencia entre errores y violaciones, la implementación de Sistemas de Gestión en Seguridad Operacional y el progreso de la aviación comercial en la capacidad de análisis de datos mediante la incorporación de tecnología y de métodos predictivos para gestionar la Seguridad Operacional.

El trabajo se desarrolló sobre la base de la metodología DMAIC. Se elaboró un capítulo por cada una de las fases del método:



1. D = Definir (*Define*)
2. M = Medir (*Measure*)
3. A = Analizar (*Analyze*)
4. I = Mejorar (*Improve*)
5. C = Controlar (*Control*)

En la fase DEFINIR se describió en detalle el problema y se elaboró un *Project Charter* teniendo en cuenta la estrategia del negocio y las variables críticas. Además, se realizó un *Quality Function Deployment* (QFD) para traducir las necesidades de los clientes del proceso de Monitoreo y Análisis de Datos de Vuelo en requisitos asociados a cada fase.

En la fase MEDIR se presentó el desempeño actual del proceso, identificando las variables críticas con el objetivo de conocer mejor el problema. Las herramientas usadas fueron mapas del proceso y gráficos de barras.

En la fase ANALIZAR se analizaron las causas del problema, mediante un análisis cualitativo de los gráficos elaborados en la fase anterior, aplicando el Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa), “Los Cinco Por Qués?” y el Análisis Modal de Fallas y Efectos (AMFE).

En la fase MEJORAR se encontraron y aplicaron mejoras, generando ideas por medio de técnicas como el *brainstorming* y opiniones de expertos en Seguridad Operacional, sumado a las mejores prácticas de la industria. Las mejoras estuvieron concentradas en revisión de procedimientos, capacitación de Pilotos, incremento de la dotación de Analistas para entregar los resultados del proceso a término a clientes y usuarios del proceso y acciones de promoción y difusión. Las soluciones encontradas se aplicaron al proceso.

En la fase CONTROLAR se monitorearon los resultados mediante indicadores de gestión de riesgo del proceso y un plan de control que se implementó con una periodicidad mensual. Las acciones de mejora continua se planificaron para implementarse durante el año 2017.

Luego de la implementación de la metodología DMAIC se consignaron los resultados más importantes y las principales conclusiones derivadas del trabajo.

A modo de aclaración, se menciona que determinados términos escritos en español tienen incluida entre paréntesis su acepción en inglés, ya que la mayor parte de la bibliografía editada sobre el tema se puede encontrar en este idioma, considerando además, que por convención internacional en la industria aérea se utiliza el inglés. También, es oportuno mencionar que la información estadística que se consultó fue proporcionada por OACI, IATA y Flight Safety Foundation y la misma data del año 2016, como fecha disponible de última actualización. La definición de los



términos aeronáuticos, abreviaturas y acrónimos específicos podrán encontrarse en el Glosario.



USAL  
UNIVERSIDAD  
DEL SALVADOR

## MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

Dependiendo de la perspectiva, el concepto de seguridad operacional en la aviación puede tener connotaciones diferentes:

- a) ningún accidente o incidente grave — opinión que sostiene ampliamente el público viajero;
- b) ausencia de peligros o riesgos, es decir de aquellos factores que causan o que probablemente causen daños;
- c) actitud de los empleados de las organizaciones aeronáuticas respecto de actos y condiciones inseguras;
- d) modos de evitar errores; y
- e) cumplimiento de las normas.

Cualquiera sea la connotación, todas tienen un carácter subyacente común: la posibilidad del control absoluto. La ausencia de accidentes, de peligros, etc., transmite la idea de que sería posible — por diseño o intervención — tener bajo control, en los contextos operacionales de la aviación, todas las variables que puedan precipitar resultados malos o perjudiciales. No obstante, si bien la eliminación de accidentes o incidentes graves y el logro del control absoluto son ciertamente deseables, son también objetivos que no pueden lograrse en contextos operacionales abiertos y dinámicos. Los peligros son componentes integrales de los contextos operacionales aeronáuticos. En la aviación ocurrirán fallas y errores operacionales, a pesar de los mejores y más logrados esfuerzos por evitarlos. Ninguna actividad humana o sistema artificial puede garantizarse como absolutamente libre de peligros y errores operacionales.

Antonella S. Cavacini  
Trabajo Final – Tesis Año 2016  
Aproximaciones Estabilizadas: Componente clave de un aterrizaje seguro