

Aplicación de técnicas de simulación al mantenimiento de aeronaves

Eugenio Bonvin¹, Emilio P. Maligno² y Guillermo M. Cid¹

¹*Departamento de Aeronáutica, Facultad C.E.F y N., U.N.C., Córdoba, Argentina*

²*Departamento de Diseño, Facultad C.E.F y N., U.N.C., Córdoba, Argentina*

Fecha de recepción del manuscrito: 01/02/2019

Fecha de aceptación del manuscrito: 28/05/2019

Fecha de publicación: 15/07/2019

Resumen: Las tareas de mantenimiento aeronáutico requieren administrar en forma precisa los recursos tanto humanos como materiales de modo de reducir las demoras y sus costos asociados. Para ello la gerencia encargada necesita disponer de herramientas que le permitan predecir y medir los parámetros de control del proceso e implementar las acciones correctivas necesarias. El trabajo propuesto se centra en la estimación de la fecha de finalización de las tareas de mantenimiento asociadas a la resolución de imprevistos, denominadas “discrepancias no planificadas”. El interés final es generar una herramienta que facilite la planificación del mantenimiento de manera más eficiente y eficaz, que sea confiable y que permita medir la evolución del proyecto en tiempo real de manera de detectar y corregir rápidamente las desviaciones que pudieran surgir, facilitando de esta manera al equipo de gestión cumplir con objetivos planteados.

Palabras clave— Mantenimiento, Simulación, Aeronaves, Gestión.

Abstract—Aeronautical maintenance tasks require the precise management of both human and material resources in order to reduce delay and their associated costs. To do this, management needs to have tools that allow it to predict and measure the control parameters of the process and implement the necessary corrective actions. The proposed work focuses on the estimation of the date of completion of maintenance tasks associated with the resolution of contingencies, called “unplanned discrepancies”. The final interest is to generate a tool that facilitates the planning of maintenance in a more efficient and effective way, that is reliable and that allows to measure the evolution of the project in real time in order to detect and quickly correct the deviations that may arise, facilitating this way to the management team to meet the objectives set.

Keywords— Maintenance, Simulation, Aircrafts, Management.

INTRODUCCIÓN

La gestión operativa de una empresa de transporte aerocomercial debe asegurar la mayor disponibilidad posible de aeronaves en servicio para responder a la demanda.

Para cumplir con este objetivo será necesario planificar adecuadamente los intervalos en los cuales las aeronaves deberán ser sometidas a tareas de mantenimiento de modo tal que la intervención programada a efectuar sobre las mismas no afecte en forma apreciable la capacidad operativa de la compañía.

La ejecución adecuada del mantenimiento aéreo requiere de una administración eficiente. La misma se inicia con un proceso de planificación de las actividades y recursos con el propósito de optimizar la coordinación, el soporte de la dirección y el control operativo y administrativo de las tareas a realizar sobre las aeronaves y sus componentes.

Cada fabricante emite los documentos necesarios para realizar el mantenimiento de las aeronaves que fabrica,

determinando la frecuencia y alcance de las inspecciones. Esta documentación es utilizada por las compañías aéreas para preservar la condición de aeronavegabilidad de las aeronaves que opera.

Para ello la Gerencia deberá disponer de herramientas que le sirvan para predecir, medir y, en base a las dos acciones anteriores, proceder a corregir desviaciones en la planificación prevista originalmente.

Es en este punto donde se manifiesta la utilidad de aplicar métodos de simulación numérica como un medio válido para complementar los sistemas tradicionales de planificación y toma de decisiones en el mantenimiento de aeronaves (Papakostas et al., 2010).

El alcance de este trabajo se circunscribe a la estimación de la fecha de finalización de los trabajos de mantenimiento con relación a las “discrepancias no planificadas”, teniendo en cuenta la incertidumbre de provisión de materiales necesarios para las reparaciones. Sin embargo, la complejidad del sistema de mantenimiento, considerando todas las actividades que se realizan sobre la aeronave,

incluyendo las discrepancias no planificadas, es mucho mayor.

El desafío es reunir la totalidad de los subsistemas en un único sistema de mayor complejidad que considere la totalidad de los trabajos a realizar sobre la aeronave teniendo en cuenta las variables que dominan el proceso de mantenimiento y sus tiempos de ocurrencia con una estructura de base estadística.

Posteriormente, sobre la obtención de resultados simulados se elige un método de medición que permite calificar el seguimiento del proceso de mantenimiento y preparar al gerente para la toma de decisiones acertadas.

ANTECEDENTES

De la investigación bibliográfica realizada se observa que en la práctica se utilizan comúnmente sistemas empíricos basados en la experiencia de personal calificado para estimar los costos y plazos de ejecución de las tareas de mantenimiento.

Estos métodos suelen complementarse con análisis del Camino Crítico y Diagramas de Gantt y en general producen resultados muy variados, dependiendo en cada caso de las condiciones particulares de la operación y de la experiencia de las personas que realizan las estimaciones.

Los técnicos involucrados en esta temática se basan en la toma de decisiones fundamentadas por los datos recabados anteriormente (aprendizaje acumulado) y la actualización de Líneas de Bases mejoradas por disponibilidad de la información, en la búsqueda de lograr una reducción de plazos y costos (Kozanidis *et al.*, 2010).

En la operatoria diaria poseen un grado de incertidumbre elevado lo que imposibilita su tratamiento eficaz por medio de los métodos convencionales basados en cálculos lineales por lo que deben ser enfocados con alguna metodología que permita reducir los desvíos tanto en la gestión de obtención de los repuestos y componentes como en el gerenciamiento de la mano de obra.

Un reclamo común del personal que planifica las inspecciones programadas y/o correctivas es que, en condiciones ideales, con el personal capacitado y con todos los materiales disponibles, las proyecciones teóricas se cumplen sin mayores inconvenientes. Sin embargo, en la medida que las demoras administrativas, logísticas y de provisión de repuestos comienzan a aparecer en escena, la previsión de cumplimiento de la fecha de entrega de la aeronave se desvanece, manifestando una marcada diferencia entre lo que es idealmente posible de aquello que es realmente alcanzable

Las hipótesis de trabajo, para la aplicación de métodos de simulación basados en datos estadísticos, combinados con la valoración de los expertos sobre la incidencia de las variables claves, puede extender sus beneficios a la planificación de la totalidad de las tareas de mantenimiento, permitiendo evaluar con mayor rapidez que los métodos empíricos convencionales, el plazo de ejecución y costo de las tareas de mantenimiento (Figura 1).

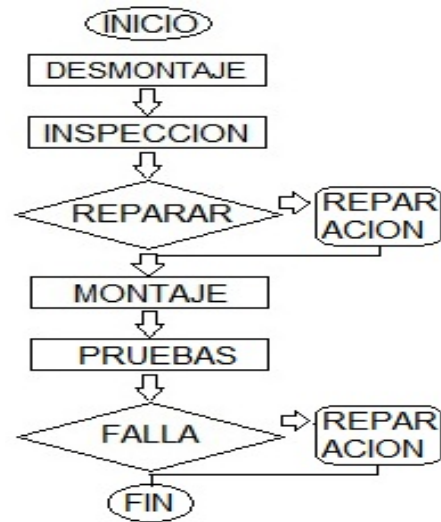


Fig. 1: Esquema global de procedimiento de la inspección de aeronaves.

METODOLOGÍA

En base a datos históricos de la duración de cada tarea relevados en aviones similares se tabulan los valores optimistas, pesimistas y más probable que representan estadísticamente la duración de cada tarea, ver Tabla 1.

TABLA 1: EJEMPLO DE ESTIMACIÓN DE TIEMPOS DE TRABAJO EXPRESADOS EN HORAS.

#	TAREA	HORAS/HOMBRE		
		Mínimo	Probable	Máximo
1	Apertura de tapas de acceso (10 tapas)	29,11	45	68,35
2	Purgado de tanque de combustible	10,35	16	24,30
3	Apertura de tapas desde bahía seca	6,21	9,6	14,58
4	Remoción de barras de acceso tanque	12,94	20	30,38
5	Inspección detallada interior del tanque	23,29	36	54,68
6	Inspección detallada puerta y accesos	1,94	3	4,56
7	Reinstalar elementos y puertas removidas	117,74	182	276,45
8	Recarga de combustible	0,00	0	0,00
9	Ensayo de perdidas sistema combustible	46,58	72	109,36

A partir de esta información se ha desarrollado un sistema que combina métodos de simulación numérica basados en datos estadísticos de provisión de materiales, ajustados teniendo en cuenta el conocimiento de los expertos que permite estimar, con una precisión aceptable, el impacto en la demanda de recursos de mano de obra y materiales para la realización de los trabajos de inspección y reparación. En última instancia esto permitirá estimar con mayor precisión el plazo de duración y costo de las tareas (Tabla 2).

En este proceso se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Relevar y organizar los datos de campo de manera que puedan ser procesados posteriormente identificando las variables principales que afectan al proceso.

TABLA 2: TARJETA DE DISTRIBUCIÓN DE TRABAJO Y TIEMPOS ASOCIADOS, EXPRESADOS EN HORAS.

TAREA	DESCRIPCION	DESMONTAJE	LIMPIEZA	INSPECCION	ENSAYO	MONTAJE	TOTAL TAREA	SUBTOTAL	TOTAL TARJETA
	Inspeccion estructura interior de alas								
1	apertura de tapas de acceso	45					45		
1	purgado de tanque de combustible	16					16		
1	apertura de tapas tanque desde bahia seca	9,6					9,6		
1	remocion de barras para acceso tanque	20					20		
	SUBTOTAL							91	
1-C	inspeccion detallada del interior del tanque			36			36		
	SUBTOTAL							36	
1-D	inspeccion detallada puerta y accesos			3			3		
	SUBTOTAL							3	
1-E	reinstalar elementos y puertas removidas					182	182		
	SUBTOTAL						182		
1-F	recarga de combustible						0		
	SUBTOTAL						0		
1-G	ensayo de perdidas de combustible				72		72		
	SUBTOTAL						72		
									384

- Definir los criterios de evaluación para la performance de los sistemas de simulación.
- Determinar la arquitectura más conveniente del sistema de simulación que mejor se adapte a las condiciones de contorno del problema y al tipo y cantidad de los datos disponibles.
- Mediante experimentos (corridas de cálculo) identificar los sistemas que producen la mejor respuesta.
- Contrastar resultados con los obtenidos mediante métodos de planificación tradicionales.

Esto configura la primera estructura del programa simulador de mantenimiento. El procedimiento incluido en el software considera el ingreso de datos a través de una secuencia de tareas que guardan un orden entre sí. Por ello el archivo de datos se configura con el número de identificación de la tarea, una breve referencia o nombre de la tarea, los tiempos asignados (tiempo optimista, tiempo normal y tiempo pesimista), la posición establecida en forma numérica de la instancia de ejecución y la cantidad de recursos humanos que se ha previsto asignar a cada tarea.

Dentro del software, posterior a la lectura de datos, el programa calcula el tiempo en Horas/Hombre para cada tarea promediando los tiempos asignados, calcula la duración de cada tarea, dividiendo el tiempo resultante por tarea, por el producto de la cantidad de personas asignadas a las tareas por una jornada de 6,7 horas por persona (este valor considera que para una jornada de 8 horas, el operario realmente agrega valor al producto por 6,7 horas, atendiendo a los permisos legales e intervalos de descanso, establecidos por convenios y legislación de trabajo pertinente).

Calculada la duración de cada tarea y considerando la secuencia de ejecución establecida en los datos, se procede a identificar que tareas son consideradas críticas para así determinar aquellas tareas que no tienen holguras.

Como el costo de materiales está asociado a las H/H estimadas para el conjunto de tareas establecidas, surgirá un valor de H/H asignadas al material estimado que hace falta para cumplir con el conjunto de tareas.

Las discrepancias y su impacto en las tareas serán estimados de acuerdo con la calificación del experto, que de acuerdo con el estado inicial de la aeronave fija el coeficiente de previsión de discrepancias.

Orientativamente se establece en la Tabla 3 la relación para estimación de discrepancias y el estado de la aeronave.

TABLA 3: RELACIÓN PARA ESTIMACIÓN DE DISCREPANCIAS Y EL ESTADO DE LA AERONAVE.

ESTADO	COEF
MUY BUENO	60%
BUENO	90%
REGULAR	120%
MALO	150%
MUY MALO	200%

El material asociado a las discrepancias es estimado en H/H (también a través de una relación porcentual con el monto de horas que representan las H/H de discrepancias) y el impacto en las fechas de provisión de materiales se simula por Método de Montecarlo.

Durante el proceso de gestión de los materiales requeridos para las reparaciones que surgen de la inspección programada de una aeronave, existen varias instancias que incluyen diferentes momentos desde que se detecta la novedad. Estas son: el registro de la novedad en un “Reporte de Discrepancia”, la propuesta de reparación, la identificación y especificación del material, el requerimiento interno para la provisión del mismo, la planificación de la adquisición (o la provisión, si hay existencia física en la empresa), la solicitud de cotización y plazos de entrega, la elaboración de la “Orden de Compra”, la confirmación del proveedor de recepción de la “Orden de Compra”, el envío del material desde la organización proveedora a la empresa que se encarga de consolidar el despacho en el país de origen, el traslado aéreo o marítimo (según sea el tipo de material considerado carga peligrosa o no), el arribo a aduana, la liberación de aduana e ingreso a la empresa, la inspección del material ingresado y su documentación y finalmente la entrega al taller reparador.

Desde la recepción de la “Orden de Compra” por parte del proveedor hasta el ingreso del material a la empresa son instancias que quedan fuera del control de la empresa. Estas instancias originan incertidumbre en la definición de la planificación y la realización de la reparación en la aeronave.

En la búsqueda de predecir la magnitud, en semanas, de esa demora se realiza una simulación de esta aplicando el “Método de Montecarlo”.

Para la determinación del tipo de material a solicitar y la ocasión de su solicitud y plazo de arribo, se estima con la reducción de la base estadística a tipo de material (diagrama de torta de Figura 2) y a la curva de porcentaje de material entregado en función del tiempo.

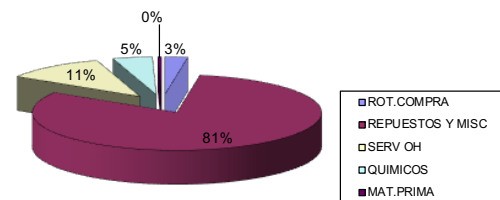


Fig. 2: Distribución porcentual por tipo de material a adquirir para una reparación mayor de aeronave.

Para confeccionar la base de datos, se tomó en consideración la información de la gestión de compra de materiales requeridos en los reportes de discrepancias de tres aeronaves, que se identifican como Aeronave #1, Aeronave

#4 y Aeronave #5, las cuales tuvieron un ciclo (en semanas) de intervención de 57, 29, y 56, respectivamente.

Del análisis del tipo de materiales requeridos (Tabla 4) se observó que, en promedio, el 81,3% de lo solicitado eran repuestos y misceláneas (se refiere con misceláneas a ítems de bajo valor unitario, como ser tornillos, tuercas, arandelas, etc.), el 2,5% eran componentes rotables comprados (identificados con número de parte y número de serie), el 11,3% eran componentes rotables que se enviaron a reparar y el 4,4 % eran componentes químicos necesarios para la reparación (componentes sellantes, etc.). También, en una de las aeronaves se solicitó la adquisición de materia prima, en muy bajo porcentaje (1,2%).

TABLA 4: DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL MATERIAL A REQUERIR.

AERONAVE	#4	#1	#5	PROMEDIO
ROT. COMPRA	3,3%	2,4%	1,9%	2,5%
REPUESTOS/MISC	82,8%	80,8%	80,4%	81,3%
SERV OH	10,8%	12,0%	11,1%	11,3%
QUIMICOS	3,1%	3,6%	6,5%	4,4%
MAT. PRIMA	0,0%	1,2%	0,0%	0,4%

Definidos los ítems que se compraron en cada una de las bases de datos, se identificó la demora total como la suma de la demora en la entrega por parte del proveedor, la demora en la consolidación, la demora en el traslado, la demora en Aduana, hasta la fecha de entrega en la empresa. Luego se ordenaron los ítems en función de la menor “Demora Total” hasta la mayor “Demora Total” y se estimaron las frecuencias relativas y acumuladas de esas demoras, referidas a la cantidad de ítems comprados (Figura 3).

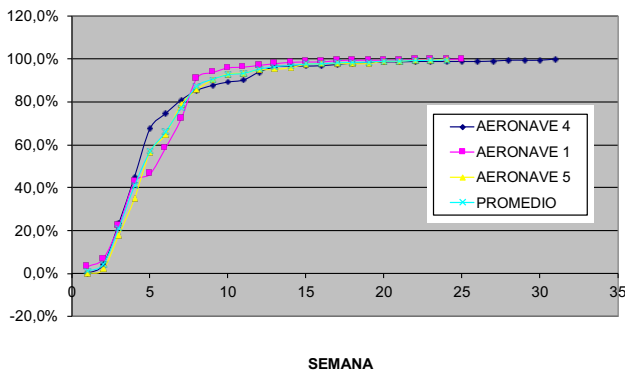


Fig. 3: Distribución de frecuencia acumulada por aeronave de la demora de provisión de material.

Luego se promediaron entre las tres aeronaves y se definió una sola curva de Frecuencia Acumulada vs. Semanas de Demora Total (Figura 4).

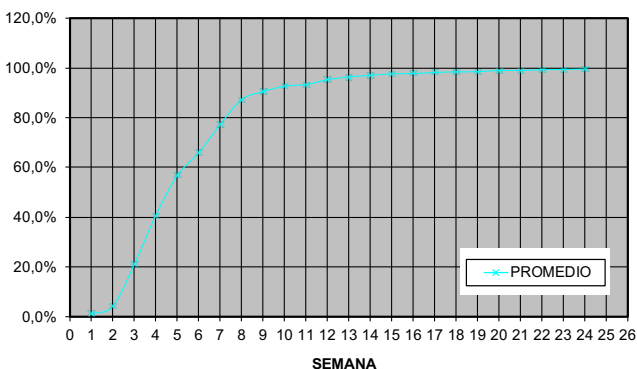


Fig. 4: Distribución de frecuencia acumulada promedio de la demora de provisión de material.

A través del método de Montecarlo, y con una rutina de generación de números aleatorios, se determina para una muestra de 100 casos qué material se está solicitando a la compra, en que día se realizó el pedido y cuál es el día de arribo (Figura 5).

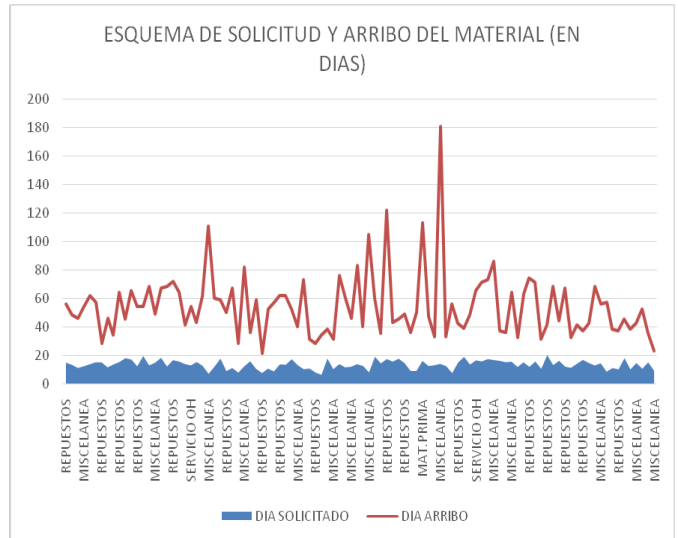


Fig. 5: Solicitud y arribo de material como resultado de aplicar el Método de Montecarlo.

De esta forma resulta evidente que el día que representa el mayor plazo de arribo de material, sumado al periodo de ejecución del “Camino Crítico” estaría estableciendo el plazo esperado de ejecución de la inspección.

Con esta metodología, queda definida, de una manera relativamente rápida, la cantidad de H/H necesarias para la ejecución de la inspección y sus discrepancias, la valorización en H/H y tipo del material estimado a comprar y una estimación de la duración de la inspección con el plazo de demora de provisión de materiales.

SIMULACIÓN Y MEDICIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO DE AERONAVES

Cómo método base para la medición de la evolución de las variables principales del proyecto se emplea el método denominado del “Valor Ganado” (Fleming et al., 2010) ya que es el más difundido en la práctica entre las empresas que se dedican a esta actividad.

Los datos generados por la aplicación de este método de medición serán expresados mediante distintos gráficos que serán distribuidos en distintos lugares del taller y oficinas de modo que todos los involucrados cuenten con información estandarizada, fácil de interpretar y puedan tomar las acciones de gestión necesarias para la marcha eficiente del proyecto.

Utilizando las bases de datos históricos del sistema de mantenimiento, más el esquema de provisión de materiales, se realiza una evaluación simulada (Gupta et al., 2003) de modo de observar la influencia de las principales variables (mano de obra y material) y se evalúa la marcha del proyecto mediante dos coeficientes de desempeño: SPI (Schedule Performance Index) y CPI (Cost Performance Index).

Las variaciones en el modelo de simulación se pueden realizar introduciendo cambios en la disponibilidad de mano de obra y mediante faltantes de materiales. Finalizada la

simulación se puede visualizar la evolución de los índices CPI y SPI, y se los grafica con una escala de colores o curva de evolución que evidencia el factor que está afectando las performances.

El sistema de medición en sí consiste en comparar las Horas/Hombre invertidas por semana (costo semanal de horas) con las horas efectivamente “ganadas” (horas hombre asignadas en la programación a cada tarea que ha sido realizada) y compararlas por otro lado con las metas específicas, también medidas en Horas/Hombre, asignadas a cada semana, de este modo se genera el coeficiente SPI utilizando la fórmula (1):

$$\text{SPI} = \text{Hs. Ganadas} / \text{Hs. Programadas} \quad (1)$$

Cuyos valores pueden ser igual a 1 si el proyecto evoluciona conforme a las metas planteadas, mayor que 1, si el proyecto está adelantado a las metas semanales o menor que 1, si el proyecto está atrasándose. El coeficiente SPI se complementa con el coeficiente CPI, fórmula (2):

$$\text{CPI} = \text{Hs. Ganadas} / \text{Hs. Invertidas} \quad (2)$$

Este coeficiente tiene en cuenta el gasto erogado por la empresa en lograr terminar una tarea. Al igual que el SPI, el CPI puede adoptar valores iguales a 1, cuando la inversión de Horas/Hombre coincide con las previstas para cada tarea terminada, mayor a 1, si la cantidad de horas/ hombre invertidas fue menor a las horas previstas, y menor que 1, si se invirtieron más Horas/Hombre de las previstas para terminar esa actividad.

Además de medir el avance del proyecto mientras este se ejecuta, resulta útil poder predecir los resultados con cierto grado de precisión (Cid et al., 2014). A fin de presupuestar nuevos trabajos y de prever los recursos necesarios, se introduce una etapa de simulación que se inicia a partir de ingresar los valores de Horas/Hombre de mano de obra correspondientes establecidos por los especialistas en base a su experiencia.

Para cada tarea de inspección se toma como duración el valor que surge de promediar los tiempos óptimos, normales y los más pesimistas ingresados como datos. También se establece la duración en días, a partir de considerar que cada persona asignada aplica a estas tareas 6,70 Hs. efectivas por cada jornada de trabajo de 8 horas nominales.

Se procede a determinar el “Camino Crítico”, el tiempo total de trabajo programado en horas hombres y la duración prevista en semanas. Teniendo en cuenta las relaciones de proporcionalidad existentes entre los valores de Horas/Hombre utilizados para las reparaciones y el monto, expresado en dinero, de los materiales necesarios para efectuarlas, se puede expresar la cantidad de “Horas equivalentes” en materiales para los trabajos programados.

Las actividades que corresponden a las tareas críticas se grafican en la Figura 6.

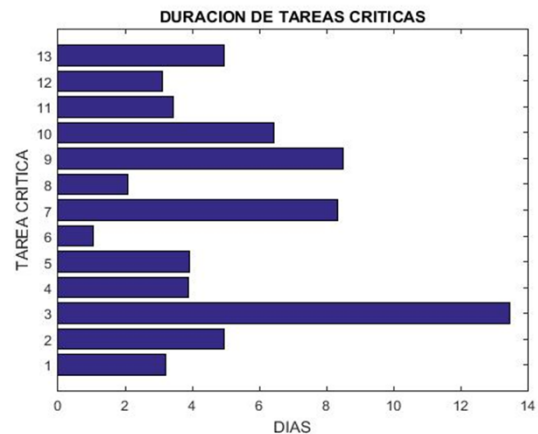


Fig. 6: Identificación de las Tareas Críticas.

Dependiendo del estado de la aeronave, se establece un porcentaje de Horas/Hombre a aplicar para resolución de novedades que puedan surgir de la inspección. Estas Horas/Hombre para resolución de imprevistos no programados se distribuyen uniformemente sobre la duración calculada para la ejecución de las tareas de mantenimiento. Una de las dificultades que subyace en este modelo, es la predicción del impacto que tendrán sobre la planificación las posibles demoras de los proveedores de repuestos necesarios para la resolución de los imprevistos. Este impacto se determina aplicando el método probabilístico de Montecarlo, se identifica el tipo de material, la semana en que impactará y el tiempo de demora, lo cual define un nuevo plazo tentativo de entrega. Como consecuencia de esta nueva fecha de entrega de la aeronave, se procede a redistribuir las Horas/Hombres remanentes desde la semana de impacto hasta el fin del trabajo.

CONCLUSIONES

El modelo presentado, además de permitir establecer en forma aceptable la cantidad de Horas / Hombre y de materiales que serán necesarios para llevar a cabo el proyecto, también aporta una buena predicción de los probables conflictos por demoras en el arribo de materiales, permitiendo la reprogramación a una nueva fecha de entrega de la aeronave.

La aplicación del método del “Valor Ganado” resulta ser útil para hacer un seguimiento rápido y efectivo del andar del proyecto y para una toma de decisiones acertada.

La posibilidad de toma de decisiones en forma eficaz y a tiempo por parte del personal se ve facilitada por la introducción de gráficos estandarizados de control describiendo la marcha de los indicadores principales y que el personal de los diversos sectores involucrados en las tareas de mantenimiento puede utilizar diariamente para identificar la necesidad o no de tomar acciones correctivas.

Si bien el sistema presentado se aplicó en este estudio al cálculo de tareas de mantenimiento de aeronaves, el mismo puede extrapolarse al cálculo de tiempos de recorrido de cualquier proyecto aumentando su utilidad respecto a los métodos clásicos a medida que se hace más complejo el proyecto y se cuenta con mayor cantidad de variables interrelacionadas una con otras, puede explorarse en aplicación a proyectos civiles complejos o de difícil

estimación como obras hidroeléctricas, obras viales no estándares etc.

Además, en referencia al método de medición a adoptar se destacan los siguientes puntos:

- El tamaño y complejidad del proyecto influye en la selección del sistema de medición a utilizar, el camino crítico, valor ganado y simulación por lógica difusa que se utilizan en proyectos complejos y con numerosas tareas.
- Los métodos basados en simulación en base a redes que utilizan lógica difusa son muy complejos de elaborar y optimizar por lo que aun su utilización es restringida.
- El método comienzo/fin, el de unidades terminadas e hitos incrementales se utilizan en proyectos con tareas simples repetitivas y relativamente sencillas de estimar su duración y costo.
- El método de hitos incrementales es una versión simplificada del método del valor ganado que en definitiva lo incluye.
- El método del valor ganado es en base al análisis de los autores el que mejor se adecua a la medición de proyectos de mantenimiento aeronáutico complejos.
- La aplicación detallada paso a paso de este método a un proyecto particular será objeto de una etapa posterior de estudio.

AGRADECIMIENTOS

A los integrantes del proyecto de investigación “Aplicación de Sistemas de Redes Difusas a la planificación del mantenimiento de aeronaves” Secretaria de Investigación y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba.

Al Departamento de Diseño de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Córdoba

A la Escuela de Ingeniería Mecánica Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Córdoba

Al laboratorio de Sistemas de Control de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba.

REFERENCIAS

- [1] Cid, G., Bonvin, E. y Maligno, E. (2014), *Mantenimiento de Aeronaves*, Editorial Universitas, ISBN 978-987-1457-83-0.
- [2] Fleming, Quentin y Koppelman, J. M. (2010), *Earned Value Project Management*. Project Management Institute.
- [3] Gupta, P., Bazargan, M., y McGrath, R. N. (2003). *Simulation model for aircraft line maintenance planning*. Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2003Proceedings, 387– 391.
- [4] Kozanidis G., Liberopoulos, G. y Pitsilkas, C. (2010), *Flight and Maintenance Planning of Military Aircraft for Maximum Fleet Availability*. Military Operations Research Society, Research Article, Vol. 1.
- [5] Papakostas N., Papachatzakis P., Xanthakis V., Mourtzis D. y Chryssolouris G. (2010), *An approach to operational aircraft maintenance planning*. Journal Decision Support Systems, Volume 48 Issue 4, ISSN 01679236.