

Aplicación de la lógica difusa a un método predictivo en el mantenimiento aeronáutico de imprevistos

**Fuzzy Logic Applied To A Predictive Model In Corrective
Aeronautical Maintenance**

Recibido: 5 de julio de 2017 - Aceptado: 10 de octubre de 2017

Para citar este artículo: R.Pedro «Aplicación de la lógica difusa a un método predictivo en el mantenimiento aeronáutico de imprevistos», *Ingenium*, vol18, n.º 36, pp. 128 -141, junio de 2017



Rojas Forero Pedro Andres*

Resumen

Se desarrolla un modelo predictivo con base en la teoría de la lógica difusa, fusionando variables cualitativas y cuantitativas, para determinar qué parte debería ser pedida como demanda pronosticada para el mantenimiento imprevisto o correctivo de la aeronave Cessna Caravan C-208, respetando una base de conocimiento experto, unas calificaciones, cualificaciones y una afectación inversamente proporcional, del costo promedio de las partes para presupuestos limitados. Con el objetivo principal de mantener un alto alistamiento de las 17 aeronaves de la Fuerza Aérea Colombiana, asignadas sobre todo el territorio colombiano de Norte a Sur. Con el fin último, de automatizar las decisiones de compra de repuestos por fallas no programadas, de acuerdo a las variables, calificaciones y cualificaciones que realicen los expertos.

Palabras Clave

Lógica difusa, Modelo predictivo, automatización de procesos, mantenimiento imprevisto, mantenimiento aeronáutico.

* M.Sc. en Logística Aeronáutica, Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana. Ingeniero Informático, en la Escuela Militar de Aviación, Cali. E-mail: pedro.rojas@fac.mil.co

Abstract

The development of a predictive model based on the theory of fuzzy logic, merging qualitative and quantitative variables to determine which part should be requested as a forecast demand for unforeseen or corrective maintenance of the aircraft Cessna C-208, respecting the knowledge base, qualifications and an inversely proportional effect on the average cost of the parts for limited budgets. With the main objective of maintaining a high listing of the 17 aircraft of the Colombian Air Force, assigned over the entire Colombian territory from North to South. With the ultimate aim of automating the purchase decisions of spare parts due to unscheduled faults, according to the variables, qualifications and qualifications that the experts perform.

Keywords

Fuzzy Logic, Predictive Model, Automation, Unscheduled Maintenance, Aeronautical Maintenance.

1. Introducción

El presente trabajo de investigación es un estudio de caso para realizar un modelo predictivo, para el planeamiento de los repuestos por mantenimiento imprevisto, caso caravan; el soporte de este proceso investigativo es el análisis predictivo, tomado de la estadística y la simulación de los escenarios, reduciendo el error a medida de la interpretación de comportamientos en el tiempo, logrando tener una aproximación al futuro.

El eje temático es la cadena de abastecimiento con un enfoque a la planeación, siguiendo el proyecto uno *Desarrollo estratégico de capacidades logísticas*, de la *Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea*, optimizando la capacidad de gestión de la información, específicamente, en la identificación de opciones para la reconfiguración e implementación de nuevas capacidades logísticas.

Es importante la toma de decisiones para dar continuación a los procesos en desarrollo y solucionar problemas, con base en los datos obtenidos a lo largo del tiempo, logrando así obtener información, creando conocimiento y finalmente, se llega a la decisión.

La minería de datos se encarga de detectar e identificar información en grandes grupos de datos, utilizando como herramienta la matemática, buscando y deduciendo tendencias y patrones de los datos. De esta forma, se ayuda a la previsión, riesgo y probabilidad, búsqueda de secuencias, y agrupación.

El C-208B es una aeronave de fabricación americana llamada Caravan, que se compone de un monomotor de plano alto, de estructura en su gran mayoría de materiales compuestos, adquirido por la FAC en el año 1997, con base logística de mantenimiento en Yopal, Casanare, en el Grupo Aéreo del Casanare.

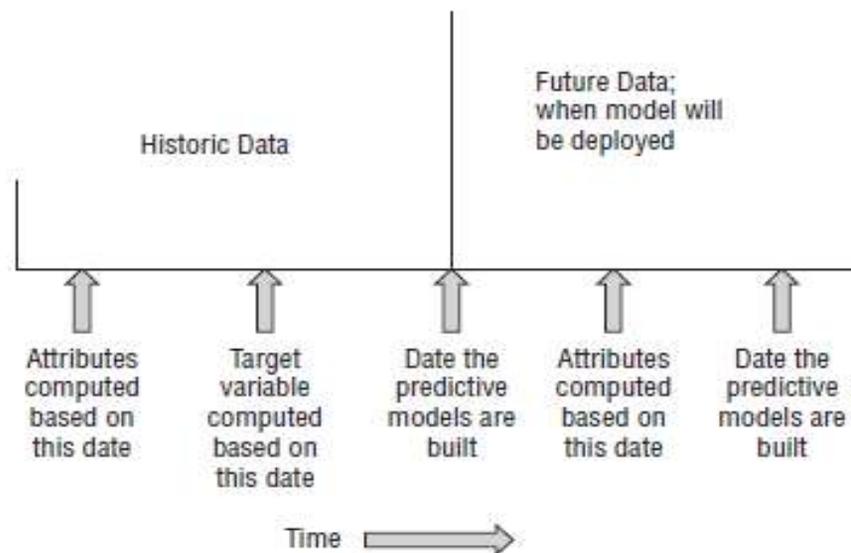
El Mantenimiento imprevisto es el mantenimiento que se realiza cuando ocurre una falla no planeada; por lo tanto, se deben realizar los diferentes trámites para la obtención de recursos necesarios para la solución a un hecho no esperado.

1.1. Análisis Predictivo

El análisis predictivo que se quiere mostrar es más desde la perspectiva practica que teórica. Este análisis no solo es ciencia, también es un arte, que está engranado a los datos que induce a modelos, identificando variables, parámetros y la complejidad del modelo como tal. Los algoritmos automatizan los procesos para buscar patrones desde los datos, realizando algoritmos de árboles de decisión, para predecir de la mejor manera el objetivo. Otros algoritmos son modificados para cumplir con búsquedas exhaustivas y poder encontrar el mejor conjunto de entradas y parámetros para el modelo. Esto con el fin de reducir el error en el modelo, de acuerdo a las necesidades del mismo.

En la siguiente figura se puede observar cómo es la línea del tiempo en la construcción de un modelo predictivo.

Figura 1. Línea del tiempo para la construcción de modelos predictivos

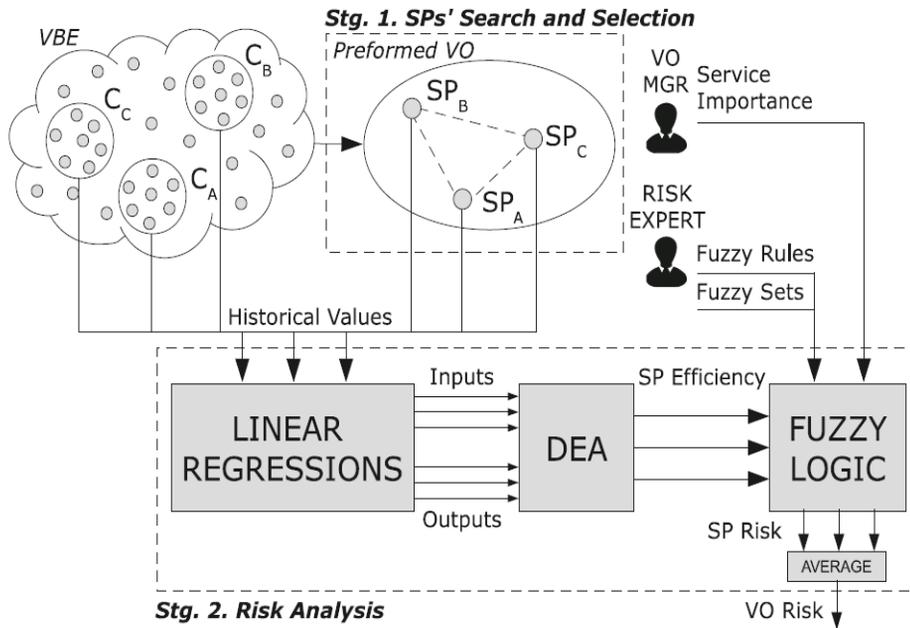


Fuente: Abbott, 2014

1.2. Análisis de la Envolvente de Datos

No es posible dejar de lado la administración de los riesgos que se puedan presentar en la elaboración del modelo; por lo tanto, se puede recurrir a conceptos tales como el análisis de la envolvente de datos o DEA y examinar si la información es fiable o se puede dar un desperdicio de datos durante el proceso.

Figura 2. Repaso del método propuesto



Fuente: Kahraman & Onar, 2015

1.3. Lógica Difusa

Para realizar un modelo con lógica difusa es necesario determinar, como primera medida, las variables lingüísticas así como la eficiencia de un proveedor, al igual que la importancia del servicio y el riesgo, por ejemplo, estableciendo por variable 5, valoraciones desde muy bajo, bajo, moderado, muy alto, y extremadamente alto, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Figura 3. Conjunto de reglas difusas propuesto

Table 9.1 Set of fuzzy rules proposed in this work

Service importance	Provider efficiency				
	EH	VH	M	L	VL
	VO risk				
Extremely High (EH)	M	VH	VH	EH	EH
Very High (VH)	L	M	VH	VH	EH
Moderate (M)	L	L	M	VH	VH
Low (L)	VL	L	L	M	VH
Very Low (VL)	VL	VL	L	L	M

Fuente: Kahraman & Onar, 2015

Las valoraciones se dan de manera estándar, aunque se puede aumentar o disminuir dependiendo la necesidad y la gestión del riesgo en los conjuntos difusos y su función de membresía.

Figura 4. Función de membresía para los conjuntos difusos

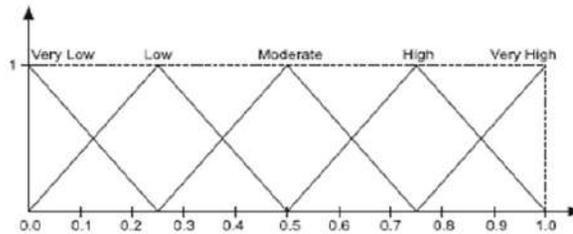


Fig. 9.3 Membership function for all the fuzzy sets

Fuente: Kahraman & Onar, 2015

Luego de haber definido las reglas es necesario definir la función de membresía y este método, creando un sistema difuso habilitado para realizar inferencias, de acuerdo a las entradas con valores cuantitativos y cualitativos; este proceso se debe repetir n veces hasta tener todas las funciones de membresía definidas.

Figura 5. Valor calculado de riegos

$$R_{VO} = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{n}$$

Fuente: Kahraman & Onar, 2015

Dentro de la información recolectada es importante la aplicación de una técnica de preparación de datos, para convertir los datos identificados para modelar, en una mejor forma para realizar los algoritmos predictivos. Cada conjunto de datos tiene diferentes formas de tratamiento, por lo que es necesario escoger un método ajustado a cada problemática.

El mayor tiempo invertido se evidencia en la técnica de preparación de datos, siendo un referente para la planeación de cualquier investigación; se toma entre un 60% y 90% del tiempo de la investigación.

El método «Variable Cleaning» se refiere al arreglo de problemas con valores y variables, donde se incluyen errores de digitación, aislamiento y falta de información. El fuerte de este método es el poder acabar con las barreras o problemas en la predicción del modelo. (Abbott, 2014)

Dentro del método existen varias soluciones aplicadas así:

- Para las variables categóricas se debe examinar la frecuencia e identificar los valores inusuales.
- Con los valores encontrados se debe realizar una evaluación por expertos, para entender la intención de la escritura inicial de los datos.

- Si los datos no son entendidos, se deben tomar como datos faltantes, o si no se tiene una frecuencia determinada, podrían tomarse como datos incorrectos.
- Cuando no existe consistencia en el formato se debe realizar la limpieza y estandarizar los formatos tan simples como la fecha o la clasificación de los datos.
- Los datos aislados no son frecuentes, pero, se deben tratar como incorrectos, en lo posible determinar e investigar qué pudo suceder, si estos afectan la predicción.
- Los datos faltantes son los más problemáticos para su tratamiento, representados por vacíos o valor «null» (Abbott, 2014).
- Para arreglar los datos faltantes, existen procedimientos que utilizan un número aleatorio (MCAR, MAR, MNAR), dependiendo de los valores que se dispongan en ese momento. También se puede tomar una constante común de naturaleza numérica o literal. (Abbott, 2014)
- Las variables redundantes e irrelevantes se deben eliminar, pero con mucho cuidado de no perder información útil para la predicción.

2. Metodología

Durante el presente trabajo de investigación se divide en 4 etapas, siguiendo la metodología de caso de uso y la Boehm espiral de la siguiente manera:

Ciclo A Identificación

- Recolección de información: se efectúa acercamiento con el Sistema de Información Logístico de la Fuerza Pública (SILOG), donde se obtiene un reporte de las fallas imprevistas del C-208, desde el año 2012 hasta mediados del año 2016. También se obtiene la transacción ZPM03 del sistema SAP que arroja un pronóstico de pedido en un periodo de tiempo, que no se usa por no ser fiable, de acuerdo a las necesidades del momento.
- Establecimiento de objetivos: para el tratamiento de la información se hace un filtrado de la información y estandarización, para lograr un análisis fiable y así evidenciar las partes que tienen mayor probabilidad de falla.
- Análisis de las alternativas: se evidencia que la información no fue ingresada de manera estándar durante casi 5 años, desde que se creó la aeronave en el sistema.
- Investigación de la doctrina de mantenimiento: se decide realizar un análisis de cada registro y estandarizar los códigos ATA (Air Transportation Association) de acuerdo al Military Standard (STANAG) que ordena la OTAN.

Ciclo B Diseño

- Tratamiento de la información: se utiliza un análisis estadístico en el que se encuentra que la moda es el sistema de navegación o ATA 34, y se grafican sucesivamente, los

resultados de cada parte, se estandariza mediante filtrado y creación de nuevos datos para definir matrícula y sistema ATA.

- Integración de variables y limpieza de la información.
- Verificación de modelos anteriores implementados en el SILOG
- Establecimiento de criterios de calificación y evaluación.
- Definición del conocimiento experto.

Ciclo C Construcción

- Se realiza la calificación por 5 expertos sobre la importancia y criticidad de los criterios al momento de realizar pedidos.
- Posterior se realiza la cualificación de las partes de acuerdo a la necesidad contra cada criterio.
- Se realiza la matriz de criterios calificados junto a la valoración matemática de los valores cualitativos.
- Luego se realiza una matriz para establecer 4 valores límite de acuerdo a lo calificado de los criterios y lo cualificado de las partes, donde se inicia con un límite inferior, uno superior y dos valores medios.
- Se realiza la matriz de cualificación de partes junto a los niveles de cualificación en valores numéricos respecto a los cualitativos.
- Se crea una tabla de calificación total de partes con los valores límites calculados anteriormente, convirtiendo todos los valores a numéricos dentro del rango del 0 a 1 sin huecos.
- Para los valores cuantitativos se realiza una matriz diferente, donde se incluyen todas las variables numéricas, para luego realizar los valores límite inversos, para afectar de manera negativa el índice de membresía, en el que a mayor valor cuantitativo, menor valor numérico en el índice que se hallará al final del modelo.
- Se halla el índice de membresía o índice de verdad por parte, para identificar el mayor número, el cual será el indicado para realizar el pedido de acuerdo a la parte.

Ciclo D Pilotaje

- Se realiza una simulación con una muestra de partes para identificar el comportamiento del modelo.
- Se revisan errores y posibles mejoras regresando al punto número 1 de recolección y análisis de la información.

3. Analisis y Discución de Resultados

Se efectúa una prueba piloto, analizando 3 partes con diferentes criterios de calificación, posterior una cualificación por cada parte dentro de de 14 criterios, de los cuales 13 son cualitativos y el ultimo es cuantitativo.

3.1. Establecimiento de Criterios

Se establecen catorce criterios de acuerdo a las necesidades de material de la aeronave C-208 consignadas en el manual de mantenimiento, dividiendo los criterios generales en específicos para mejorar la toma de decisiones del modelo.

Tabla 1. Criterios del modelo Difuso

No.	CRITERIO
1	Tiempo medio para reparar
2	Tiempo medio para remover e instalar
3	Tiempo medio entre mantenimiento
4	Tiempo medio entre fallas
5	Material reparable
6	Fallas recurrentes
7	Material nuevo
8	Trazabilidad
9	Vencimiento
10	Disponibilidad
11	Producto Nacional
12	Producto Internacional
13	Material sustituto
14	Costos (Cuantitativo)

Fuente: elaboración propia 2017

La finalidad de estos criterios es la de poder llegar a la necesidades de material, para un mantenimiento correctivo o imprevisto, permitiendo que cada año se pueda realizar de manera automatizada y con base en los expertos la evaluación de los pedidos con un sistema difuso.

3.2. Establecimiento de Valores de Calificación de Criterios

Se formula una escala de valoración de criterios para dar o no la importancia entre los criterios establecidos, desde una valoración irrelevante a una valoración de critico o relevante.

Tabla 2. Valores de calificación de los criterios del modelo

IMPORTANCIA	DENOMINACION
C	CRITICO
I	IMPORTANTE
B	BASICO
PR	POCO RELEVANTE
IR	IRRELEVANTE

Fuente: elaboración propia 2017

Adicional a la valoración se debe asignar los niveles numéricos de la calificación en el sistema difuso, que para este caso se establece una escala simple de 4 niveles, desde uno inferior, dos niveles medios y uno superior.

Tabla 3. Niveles uméricos de la valoración del modelo

SIGLAS	LIM INF	VLR MEDIO	VLR MEDIO2	LIM SUP
IR	0	0	0	0,3
PR	0	0,3	0,3	0,5
B	0,2	0,5	0,5	0,8
I	0,5	0,7	0,7	1
C	0,7	1	1	1

Fuente: elaboración propia 2017

Luego se debe realizar la calificación por 5 expertos para cada uno de los criterios y de acuerdo a la escala anteriormente planteada.

Tabla 4. Calificación de los criterios por cinco expertos

CRITERIOS	E1	E2	E3	E4	E5
1	C	C	I	C	I
2	B	I	B	I	I
3	C	C	C	C	C
4	PR	B	I	PR	B
5	I	C	I	I	C
6	B	I	B	I	I
7	C	C	I	C	B
8	I	B	C	I	C
9	I	I	I	I	I
10	B	B	C	B	C

CRITERIOS	E1	E2	E3	E4	E5
11	C	PR	B	I	IR
12	B	I	I	B	I
13	I	B	C	B	B
14	C	PR	C	PR	B

Fuente: elaboración 2017

Ahora se debe realizar el promedio de la calificación realizada por los expertos para cada uno de los límites dentro de lo evaluado por 5 expertos.

Tabla 5. Promedio de cada nivel entre los criterios calificados

CRITERIO	LIM INF	VLR MEDIO	VLR MEDIO	LIM SUP
1	0,62	0,88	0,88	1,00
2	0,38	0,62	0,62	0,92
3	0,70	1,00	1,00	1,00
4	0,18	0,46	0,46	0,72
5	0,58	0,82	0,82	1,00
6	0,38	0,62	0,62	0,92
7	0,56	0,84	0,84	0,96
8	0,52	0,78	0,78	0,96
9	0,50	0,70	0,70	1,00
10	0,40	0,70	0,70	0,88
11	0,28	0,50	0,50	0,72
12	0,38	0,62	0,62	0,92
13	0,36	0,64	0,64	0,88
14	0,32	0,62	0,62	0,76

Fuente: elaboración propia 2017

3.2 Establecimiento de los criterios de calificación

Es este punto se aproximan nueve criterios de calificación de cada una de las tres partes tomadas como piloto para este modelo, con el objetivo de que sea una escala más amplia para aumentar proporcionalmente la flexibilidad de esta calificación.

Tabla 6. Criterios de calificación

IMPORTANCIA	DENOMINACION
MB	MUY BUENA
B-MB	BUENA –MUY BUENA
B	BUENA

IMPORTANCIA	DENOMINACION
J-B	JUSTA-BAJA
J	JUSTA
P-J	POBRE-JUSTA
P	POBRE
MP-P	MUY POBRE-POBRE
MP	MUY POBRE

Fuente: elaboración propia 2017

Igualmente para adaptar esta escala de cualificación se deben establecer los niveles dentro del modelo de lógica difusa.

Tabla 7. Niveles numéricos de la valoración del modelo

SIGLAS	LIMITE INF	LIMITE MED	LIMITE MED2	LIMITE SUP
MP	0	0	0	0,2
MP-P	0	0,2	0,2	0,4
P	0	0,2	0,2	0,4
P-J	0	0,2	0,5	0,7
J	0,3	0,5	0,5	0,7
J-B	0,3	0,5	0,8	1
B	0,6	0,8	0,8	1
B-MB	0,6	0,8	0,8	1
MB	0,8	1	1	1

Fuente: elaboración propia 2017

Ahora se desarrolla la cualificación de las partes, por cada uno de los catorce criterios enunciados anteriormente.

Tabla 8. Criterios de cualificación

CRITERIO	PARTE	CRITERIO	MY. CADENA	TE. LOPEZ	POCHO	CT. RODRIGUE	TE. ROJAS
1	1	Parte 1	B-MB	MB	MB	P-J	MB
1	2	Parte 2	B-MB	MB	B	J-B	B
1	3	Parte 3	B-MB	MB	B	MB	B-MB
2	1	Parte 1	MP	B	B	MP	J
2	2	Parte 2	P-J	MB	P-J	J-B	J-B
2	3	Parte 3	B-MB	B-MB	B-MB	MB	J-B
3	1	Parte 1	B-MB	B-MB	MB	J-B	MB
3	2	Parte 2	MB	MB	B	B	B-MB
3	3	Parte 3	MB	B-MB	B	B-MB	B
4	1	Parte 1	P-J	P	B	MP	J-B
4	2	Parte 2	P-J	B	P	P-J	J
4	3	Parte 3	B	B	P	J	P-J
5	1	Parte 1	B-MB	B	B-MB	B	MB
5	2	Parte 2	B-MB	MB	B	MB	B
5	3	Parte 3	MB	B	B	B	P-J
6	1	Parte 1	B-MB	B	J	B	P-J
6	2	Parte 2	B	MB	J-B	J	B-MB
6	3	Parte 3	B	B	MP-P	P	B
7	1	Parte 1	J-B	B-MB	B	J	B-MB
7	2	Parte 2	MB	B-MB	MB	MB	B-MB
7	3	Parte 3	B-MB	B-MB	B	J-B	P
8	1	Parte 1	B	B-MB	J-B	J	B
8	2	Parte 2	B	B-MB	P-J	J-B	B
8	3	Parte 3	J	B-MB	P	MP-P	P-J
9	1	Parte 1	MB	B-MB	B	B	B-MB
9	2	Parte 2	MB	MB	B	B	B-MB
9	3	Parte 3	B-MB	B-MB	P	P	B-MB
10	1	Parte 1	MB	B-MB	J	B	B-MB
10	2	Parte 2	MB	B-MB	P	J	B
10	3	Parte 3	B-MB	B-MB	J	P	B
11	1	Parte 1	P	J	P	MP-P	P-J
11	2	Parte 2	P	J	P	J	P-J
11	3	Parte 3	P	J	P	J	B-MB
12	1	Parte 1	MB	B-MB	J	J	J-B
12	2	Parte 2	B	MB	B-MB	B	J-B
12	3	Parte 3	J	B-MB	J	P-J	MB
13	1	Parte 1	MB	B-MB	J	B	J
13	2	Parte 2	MB	B-MB	MB	MB	MB
13	3	Parte 3	B	B-MB	J	P	J

Fuente: elaboración propia 2017

Se realiza de igual manera el promedio entre lo cualificado y cada nivel establecido para el modelo difuso logrando organizar los limites de acuerdo a cada criterio y las partes.

Tabla 9. Promedio de cada nivel entre las partes cualificadas

CRITERIOS	PARTES	LIM INF	VLR MEDIO	VLR MEDIO	LIM SUP
1	1	0,60	0,80	0,86	0,78
	2	0,58	0,78	0,84	0,83
	3	0,68	0,88	0,88	0,83
2	1	0,30	0,42	0,42	0,52
	2	0,28	0,48	0,72	0,73
	3	0,58	0,78	0,84	0,83
3	1	0,62	0,82	0,88	0,83
	2	0,68	0,88	0,88	0,83
	3	0,64	0,84	0,84	0,83
4	1	0,18	0,34	0,46	0,55
	2	0,18	0,38	0,50	0,58

CRITERIOS	PARTES	LIM INF	VLR MEDIO	VLR MEDIO	LIM SUP
	3	0,30	0,50	0,56	0,63
5	1	0,64	0,84	0,84	0,83
	2	0,68	0,88	0,88	0,83
	3	0,52	0,72	0,78	0,78
6	1	0,42	0,62	0,68	0,73
	2	0,52	0,72	0,78	0,78
	3	0,36	0,56	0,56	0,63
7	1	0,48	0,68	0,74	0,78
	2	0,72	0,92	0,92	0,83
	3	0,42	0,62	0,68	0,73
8	1	0,48	0,68	0,74	0,78
	2	0,42	0,62	0,74	0,78
	3	0,18	0,38	0,44	0,53
9	1	0,64	0,84	0,84	0,83
	2	0,68	0,88	0,88	0,83
	3	0,36	0,56	0,56	0,63
10	1	0,58	0,78	0,78	0,78
	2	0,46	0,66	0,66	0,68
	3	0,42	0,62	0,62	0,68
11	1	0,06	0,26	0,32	0,43
	2	0,12	0,32	0,38	0,48
	3	0,24	0,44	0,44	0,53
12	1	0,46	0,66	0,72	0,73
	2	0,58	0,78	0,84	0,83
	3	0,40	0,60	0,66	0,68
13	1	0,52	0,72	0,72	0,73
	2	0,76	0,96	0,96	0,83
	3	0,36	0,56	0,56	0,63
14	1	0,22	0,28	0,28	0,36
	2	0,25	0,30	0,30	0,37
	3	0,35	0,42	0,42	0,50

Fuente: elaboración propia 2017

3.3. Desarrollo del índice de membresía difusa

Una vez obtenida toda la información de las calificaciones y cualificaciones en términos numéricos y dentro del modelo difuso, se debe encontrar el índice de membresía difusa o índice de verdad.

Donde F_i es la función por cada nivel establecido que se obtiene del producto y suma de la matriz de calificación y cualificación por el nivel inferior, medios y superior.

Finalmente, se suman las cuatro F_i y se obtiene el índice de membresía total, que nos indica que a mayor valor es mayor la verdad.

Por lo tanto, de acuerdo a esta prueba piloto la parte No. 2 es la que obtiene el mayor índice de membresía y por ello es el más verdadero y así es la parte que se debe escoger para la compra.

Tabla10. Índice de membresía difusa

PARTE	F_1	F_2	F_3	F_4	SUM F_i
1	0,214377	0,45867	0,48507	0,637669563	1,7957866
2	0,237022	0,499076	0,531561	0,673572323	1,9412314
3	0,194378	0,437112	0,454855	0,618249742	1,7045938

Fuente: elaboración propia 2017

4. Conclusiones

La logica difusa como modelo de toma de decisiones es de vital importancia dado a su flexibilidad y la capacidad de poder pasar de la logica convencional de dos estados, a estados infinitos dentro de la misma escala desde el 0 hasta el 1, permitiendo tener no solo un valor absoluto, sino valores difusos que nos aproximan a la realidad de una verdadera toma de decisiones.

La ventaja respecto a los modelos convencionales de toma de decisiones basados en información histórica, es la independencia y no corrupción de la información dado que si no se tienen políticas claras en cuanto a los datos, no se puede llegar a una depuración total de información utilizando data cleaning. Por lo tanto, no se obtendrían tendencias reales.

Para la Fuerza Aerea Colombiana es necesario tomar decisiones en cuanto a las compras de los respuestos de aeronaves como el C-208, sobretodo en cuanto a los repuestos no planeados o imprevistos, con una periodicidad anual y teniendo en cuenta que los factores no solo cualitativos son los que afectan la decisión, sino también los factores cuantitativos siendo un factor determinante de acuerdo al presupuesto nacional.

Referencias

- [1] Adel A. Ghobart, C. H. (2003). Evaluation of forecasting methods for intermittent parts demand in the field of aviation : a predictive model. *Computers & Operations Research* 30, 18.
- [2] Abbott, D. (2014). *Applied Predictive Analytics, principles and techniques for the professional data analyst*. Indianapolis, Indiana: Wiley.
- [3] FAC-4.1.3-O. (2009). *Manual de Abastecimientos Aeronáuticos FAC 4.1.3-O MAABA 1ED*. Bogota D.C.: MAABA 1ED.
- [4] Kahraman, C., & Onar, S. Ç. (2015). *Intelligent Techniques in Engineering Management, Theory and Applications*. Switzerland: Springer.