

USO DE TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL, BASADAS EN SISTEMAS EXPERTOS, PARA EL APOYO A LA SELECCIÓN DE MATERIALES

*J. Debán Blanco*¹, *A. García Luque*², *J.M. Castillo Chamorro*²

¹Ingeniero Industrial. Ministerio de Defensa de España. vicor2k@gmail.com;

²Doctor por la Universidad de Sevilla. Profesor asociado de la UAH.

³ Doctor Ingeniero de Comunicación. Profesor de la UNIR. Socio director de Softcast Consulting.

Resumen: El presente trabajo expone el uso de técnicas de inteligencia artificial para la selección de materiales, dentro de un proceso de diseño y fabricación. Se expone que toda herramienta de apoyo a la selección de materiales debería estar basada en tres pilares: el conocimiento previo, la experiencia acumulada y la capacidad de aprendizaje. A partir de una tecnología de Sistemas Expertos, usando conocimiento basado en reglas, así como técnicas de aprendizaje supervisado y no supervisado, se muestra cómo el programa va descartando los materiales de un listado previamente establecido, que no se ajusten a unos requisitos especificados, de acuerdo a unas reglas.

Palabras clave: Selección de materiales, fabricación, inteligencia artificial, sistemas expertos.

1. INTRODUCCIÓN.

El proceso de diseño y fabricación de piezas, constituye un verdadero arte que requiere de sólidos conocimientos en múltiples campos, como son: normativa, materiales, diseño, simulación, maquinaria, gestión de la calidad, software, ensayos, etc. La actividad de diseño incluye la selección de materiales, que es una de las fases más complejas, ya que el éxito y la viabilidad económica dependen de ella. Es por ello que, en la práctica, en el proceso de selección, se suelen usar herramientas informáticas de apoyo.

Sin embargo, muchas veces se observa que la selección de materiales es una actividad que se descuida, no aplicando procedimientos sistemáticos y eligiéndose el material sin mucho criterio, usándose sólo la experiencia del diseñador [1].

Seleccionar el material óptimo para una aplicación industrial de fabricación, es cada vez más complejo y laborioso debido a la gran cantidad de opciones disponibles [2]. Las aplicaciones actuales de apoyo a la selección de materiales, se basan en bases de datos informáticas, que usan listados exhaustivos de materiales (en torno a 120.000), junto con herramientas de búsqueda, filtrado, gráficos y tablas de comparación (figura 1). Sin embargo, estas herramientas, verdaderas enciclopedias, no están pensadas para las necesidades específicas de una empresa concreta, que no dispone de dicha cantidad de materiales, sino de muchos menos (por lo general, menos de 300).

Es por ello que, dentro de una empresa industrial, dedicada a tareas de diseño y fabricación, haría falta el desarrollo de alguna herramienta informática que seleccionara, de forma sistemática y objetiva, el material más adecuado, no de entre todos los materiales existentes en el mercado, sino sólo de entre los materiales que estén disponibles dentro de la empresa. Por otra parte, es importante garantizar que el conocimiento de selección de materiales pertenezca a la

empresa y no dependa de las personas, que van cambiando con el tiempo.

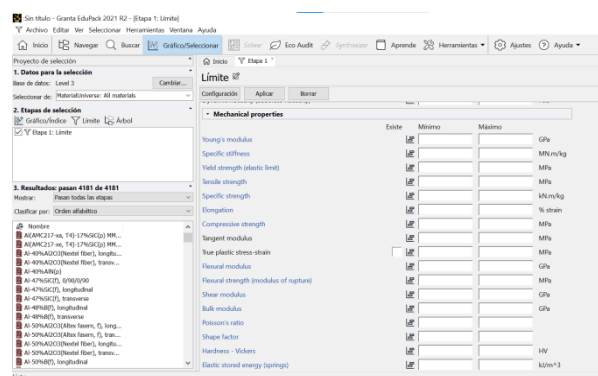


Figura 1. Software Ansys Granta EduPack 2021.

El objetivo del presente artículo es describir el uso de la Inteligencia Artificial (IA) y en concreto de los Sistemas Expertos (SE), como una solución viable y óptima, para el apoyo a la selección de materiales. Los SE son una tecnología que permite la toma informatizada de decisiones, con la competencia de un experto. Todo ello, basado en un gran volumen de conocimiento teórico.

Hasta la fecha, dentro de la IA aplicada a la selección de materiales, se han desarrollado herramientas basadas principalmente en redes neuronales (Perceptrón multicapa). También se han probado técnicas de IA, basadas en búsquedas con árboles de decisión o algoritmos de agrupamiento (K-means). Sin embargo, los SE, a pesar de ser una tecnología madura, apenas se han usado dentro de la selección de materiales.

2. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SISTEMAS EXPERTOS.

La IA es el campo de la informática centrado en crear sistemas o máquinas que puedan realizar tareas que

normalmente requieren inteligencia humana. Estas tareas incluyen, entre otras, la toma de decisiones.

Los SE son una tecnología de IA que, aunque no es novedosa, sus fundamentos pueden ser muy útiles en la toma de decisiones. Un SE es un sistema informático que emula el razonamiento actuando tal y como lo haría un experto en cualquier área de conocimiento [3]. Los SE fueron una de las primeras formas de software de IA realmente exitosas [4]. Se basa en la representación de conocimiento y la realización de inferencias.

Un SE es una tecnología no algorítmica (por ello, permite una fácil modificación del conocimiento, sin reprogramar el sistema), y se divide en dos subsistemas: el motor de inferencia y la base de conocimiento (figura 2). La base de conocimiento acumula hechos y reglas. El motor de inferencia aplica las reglas a los hechos conocidos, para deducir nuevos hechos.

Como ejemplo, en la figura 3 se puede ver un caso concreto de funcionamiento de un SE: dados unos hechos iniciales H y K, el SE deduciría la consecuencia A, usando la regla R3; la consecuencia E usando la regla R1; la consecuencia B usando la regla R5, y así sucesivamente, hasta encontrar la consecuencia D, que es la respuesta que se busca, aunque el sistema puede seguir buscando por saturación [5].

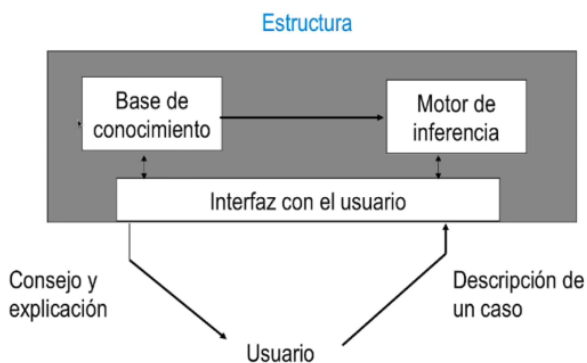


Figura 2. Estructura de un SE [5].

3. PROCESO GENERAL DE SELECCIÓN DE MATERIALES.

La selección del material para la fabricación de una pieza, requiere conocer de antemano: 1) la forma y tamaño de la pieza, 2) su función y requisitos y 3) decidir su proceso de fabricación (que depende también de factores como el número de unidades a fabricar o el plazo disponible para su fabricación).

Una vez decididas las tres circunstancias anteriores, se puede pasar a seleccionar el material, usando conocimientos técnicos-científicos y la experiencia previa. Es esta fase la que se debería informatizar, para garantizar una selección de materiales racional y objetiva, con un conocimiento que pertenezca a la organización y no dependa de las personas.

- Base de conocimiento
 - Base inicial de hechos: H,K
 - Base de reglas:
 - R1 A→E
 - R2 B→D
 - R3 H→A
 - R4 E y G→C
 - R5 E y K→B
 - R6 D y E y K→C
 - R7 G y K y F→A
- Reglas
 - (R3) H →A
 - (R1) A →E
 - (R5) E y K →B
 - (R2) B →D
 - (R6) D y E y K →C
- Base de hechos
 - A, H, K
 - A, E, H, K
 - A, B, E, H, K
 - A, B, D, E, H, K
 - A, B, C, D, E, H, K

Resposta favorable

Saturación

Figura 3. Ejemplo de funcionamiento de un SE [5].

4. PRINCIPIOS DE LAS HERRAMIENTAS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES.

Toda herramienta de apoyo a la selección de materiales debe estar basada en tres pilares: el conocimiento previo; la experiencia acumulada y la capacidad de aprendizaje.

- **Conocimiento previo:** todo proceso de selección debe estar conducido o guiado por un conocimiento previo, que establezca unas reglas claras de aplicación, por ejemplo: “los termopolímeros sufren fluencia y no son adecuados para aplicaciones que supongan soportar cargas a elevadas temperaturas”. Es el conocimiento en la Ciencia e Ingeniería de Materiales el que debe guiar cualquier proceso de búsqueda, acelerando éste y evitando cometer errores garrafales. El conocimiento previo tiende a sintetizarse en reglas generalistas, lo que contrasta con el conocimiento que surge de la experiencia.
- **Experiencia acumulada:** la selección de materiales se debe basar asimismo en la experiencia acumulada, que es un tipo de conocimiento específico, distinto para cada empresa, que se dedica a la fabricación de un tipo concreto de piezas, usando unos tipos concretos de maquinaria y materiales. Por ejemplo: “El TPU 95A en estado de polvo, conformado por una impresora 3D de tecnología SLS, permite fabricar guardapolvos para vehículos de buena calidad y bajo coste”.
- **Capacidad de aprendizaje:** junto a un conocimiento previo y una experiencia acumulada, la herramienta de apoyo a la selección debe ser abierta, en el sentido de permitir aprender de los errores cometidos, así como aprender a utilizar

nuevos tipos de materiales que vayan surgiendo en el mercado, tal y como trabajamos los humanos racionales. De hecho, en las personas físicas, la experiencia acumulada y la capacidad de aprendizaje suelen coincidir. No ocurre así en los sistemas informáticos, que no tienen por qué disponer de posibilidades de aprendizaje, si no han sido programados para ello.

En el seno de una empresa u organización que se dedique al diseño y fabricación de piezas y conjuntos mecánicos, los tres pilares anteriormente mencionados se pueden conseguir contratando a personal cualificado en diversos campos y tras muchos años de experiencia en la selección de materiales. Sin embargo, las tendencias actuales son las de reducir personal y fomentar la movilidad, por lo que es complicado disponer de personas con alta continuidad en un puesto tan específico. Es por ello que se debe evolucionar al uso de sistemas informatizados, personalizados para las necesidades de cada empresa, donde pueda acumularse el conocimiento, que debe pertenecer a la empresa y no perderse cuando se marcha el personal.

5. METODOLOGÍA.

Para el desarrollo de un SE que apoye en la selección de materiales, de acuerdo a lo expuesto en los apartados anteriores, se propone el desarrollo de los siguientes elementos:

1. Un listado de los materiales disponibles para fabricación, junto con sus propiedades necesarias para poder ser identificados (ver figura 4). Dicho listado debe ser fácilmente editable, para poder incluir nuevos materiales.

	A	B	C	D	E	F	G
1	denominación	familia	clase	fabricación	tecnología	tipo	resistencia mecánica
2	AISI 316L	metal	acero	sustractiva	fresado	rígido	alta resistencia
3	ASA	polimero	termoplastico	aditiva	FDM	rígido	baja resistencia
4	6061	metal	aluminio	sustractiva	fresado	rígido	media resistencia
5	Resina Flex 80A	polimero	termoestable	aditiva	SLA	flexible	baja resistencia

Figura 4. Listado de materiales disponibles.

2. Una interfaz de usuario donde se puedan especificar los requisitos técnicos que debe satisfacer el material y que constituirán la base inicial de hechos (ver figura 5).

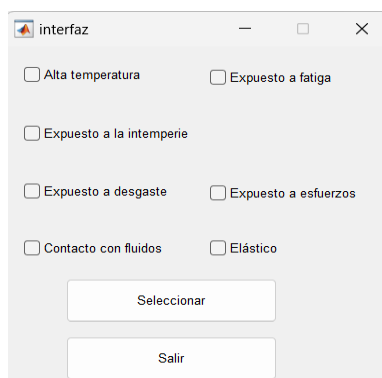


Figura 5. Interfaz de usuario.

3. Una base de reglas textuales, que contiene el conocimiento previo depositado en el SE (ver figura 6). Dicho listado debe ser fácilmente editable, para poder ser revisado y poder añadir nuevas reglas.

```

reglas_de_funcionamiento - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
function reglas=reglas_de_funcionamiento
reglas={
'R1: si resistencia mecanica es alta entonces acero.',
'R2: si resistencia mecanica es media entonces aluminio.',
'R3: si resistencia mecanica es baja entonces polimero.',
'R4: si fabricación aditiva entonces aditiva.',
'R5: si fabricación sustractiva entonces sustractiva.',
'R5: si baja densidad, entonces polimero o aluminios.',
'R6: si tipo rigido entonces rigido.',
'R7: si tipo flexible entonces flexible.'
}
    
```

Figura 6. Base de reglas textuales.

4. Un motor de inferencia que, aplicando la base de reglas, a partir de la base inicial de hechos, va descartando materiales del listado, hasta ofrecer aquellos materiales (uno o varios) que satisfacen los requisitos especificados en la interfaz de usuario.
5. Un listado donde se guarda un registro histórico de los materiales que se han ido seleccionando en anteriores búsquedas, donde se puede incluir si la selección fue satisfactoria o no. Este listado se usa para priorizar las respuestas, en el caso de que haya varios materiales posibles. Esto permite que el sistema pueda aprender conforme se va usando, ya que dispone de una realimentación.

6. EJEMPLOS DE APLICACIÓN.

Escenario 1: Como primer ejemplo de aplicación, se supondrá una empresa de fabricación aditiva, que sólo dispone de 5 materiales poliméricos: PLA, PC, Resina 4000 y dos tipos de TPU 90A, con las características que se recogen en la Tabla 1 en el listado de materiales del SE (conforme al apartado 5.1):

Tabla 1. Características de los materiales disponibles.

Material	Denominación	Tipo	Fabricación
1	PLA	rígido	FDM
2	PC	rígido	FDM
3	Resina4000	rígido	SLA
4	TPU90A	flexible	SLM
5	TPU90A	flexible	FDM

En la interfaz de usuario (conforme al apartado 5.2) se pueden elegir 4 opciones: alta resistencia mecánica, buen acabado superficial, alta temperatura, prototipo. La base de reglas (conforme al apartado 5.3), incluye 4 reglas:

- R1: Si alta resistencia, entonces PC o Resina4000.
- R2: Si buen acabado superficial, entonces SLA o SLM.
- R3: Si prototipo, entonces PLA o TPU90A.

R4: Si alta temperatura, entonces Resina 4000 o PC.

Por tanto, si se desea fabricar un prototipo de una pieza que deba tener buen acabado superficial, se selecciona: prototipo y buen acabado superficial en la interfaz de usuario, que constituiría la base inicial de hechos. Entonces el motor de inferencia (conforme al apartado 5.4) recorrería la base de reglas y aplicaría primero la regla R2, eliminando del listado inicial, los materiales 1, 2 y 5; luego aplicaría la regla R3, eliminando el material 3 y dando como resultado por pantalla el TPU90A para tecnología SLM. Por último, este resultado se almacenaría en un registro histórico (conforme al apartado 5.5), donde se puede añadir si la selección del material fue conforme o no, lo que ayudará en futuras consultas.

Escenario 2: Como segundo ejemplo de aplicación, se supondrá que se desea fabricar una pieza que deba tener un buen acabado superficial y deba soportar altas temperaturas. Se selecciona: altas temperaturas y buen acabado superficial en la interfaz de usuario, que constituiría la base inicial de hechos. Entonces el motor de inferencia (conforme al apartado 5.4) recorrería la base de reglas y aplicaría primero la regla R2, eliminando del listado inicial los materiales 1, 2 y 5; luego aplicaría la regla R4, eliminando el material 4 y dando como resultado por pantalla la Resina 4000 para tecnología SLA. Por último, este resultado se almacenaría en el registro histórico.

7. DISCUSIÓN.

El uso de una herramienta informática personalizada de selección de materiales, tiene una serie de ventajas con respecto al uso de las actuales herramientas de selección:

- Sólo se tienen en cuenta los materiales que usa la empresa, o los materiales que queremos incorporar en el futuro.
- El conocimiento queda depositado en la aplicación informática y es por tanto propiedad de la empresa, haciendo que el conocimiento no dependa del personal.
- El proceso de selección es sistemático y objetivo, sin depender de la subjetividad del operador humano.
- El sistema es flexible, pudiendo añadir nuevos materiales y reglas, sin necesidad de modificar los algoritmos internos del motor de inferencia.

8. CONCLUSIONES.

Los SE son una tecnología de IA que garantizan una selección de materiales racional y objetiva, con un conocimiento que pertenezca a la organización y no dependa de las personas.

9. REFERENCIAS.

[1] Barrueta N. et al (2022). La selección de materiales en el proceso de diseño en Cuba. Revista material-ES.

[2] Merayo, D. 2019. Comparative analysis of artificial intelligence techniques for material selection applied to manufacturing in Industry 4.0. 8th Manufacturing Engineering Society.

[3] Jackson, Peter (1998). Introduction To Expert Systems (3 edición). Addison Wesley. p. 2. ISBN 978-0-201-87686-4.

[4] Russell, Stuart; Norvig, Peter (1995). Simon & Schuster, ed. Artificial Intelligence: A Modern Approach. pp. 22-23. ISBN 978-0-13-103805-9.

[5] Castillo, J.M. (2025). Aprenda a ver más allá del corto plazo. ISBN 979-8877197527.