

# APLICACIONES DE LOS SISTEMAS BASADOS EN EL CONOCIMIENTO AL DISEÑO Y DESCIFRADO DE REDUCTORES DE CICLO PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA.

APPLICATIONS OF KNOWLEDGE BASED SYSTEMS TO CICLO DRIVES DESIGN FOR SUGAR INDUSTRY

**MSc. Ana María Becerra Ferreiro \***, **Dr. Jorge L. Moya Rodríguez °**, **Dr. César A. Chagoyen Méndez °**,  
**Dr. Angel I. Moreno Delfrades °**, **Dr. José Alberto Velázquez Pérez \*\***

\*Universidad Autónoma de Zacatecas. México,

\*\* Universidad Veracruzana. México,

° Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Central de Las Villas. Cuba.

Email: jorgemr@fim.uclv.edu.cu

## RESUMEN:

En los últimos tiempos han tomado un gran auge a nivel internacional las Técnicas de la Inteligencia Artificial, siendo muy comunes hoy en día los términos de “Sistemas basados en el conocimiento”, “Redes Neuronales”, etc. Dentro de los sistemas basados en el conocimiento los más comunes son los “Sistemas basados en reglas”, “Sistemas basados en Casos” y “Sistemas Híbridos”. Estas técnicas han sido aplicadas con éxito en diferentes ramas del saber. Los sistemas basados en reglas (SBR) parten de determinadas expresiones matemáticas y restricciones que caracterizan el objeto que se está proyectando. Los SBC parten de problemas resueltos en un dominio de aplicación y mediante un proceso de adaptación, encuentran la solución a un nuevo problema. Ambos sistemas dentro de la Ingeniería Mecánica, pueden ser la solución a la tarea de diseñar o descifrar de la forma más automatizada posible, engranajes, y en particular transmisiones por engranajes cilíndricos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes que hasta ahora se diseñan por métodos manuales y tradicionales, siendo sistemas que aprenden con el tiempo y se convierten en archivos de diseño. Se pretende que un SBC para el diseño sea un sistema adaptable, capaz de almacenar y reproducir la experiencia acumulada y de ir asimilando nuevos casos, además de permitir la rapidez y calidad de los diseños, y de contribuir a modernizar, racionalizar y hacer más competitivos los departamentos o grupos especializados que se dedican a esta tarea. A la combinación de los sistemas basados en regla y los sistemas basados en casos se les denomina sistemas híbridos.

Los sistemas basados en reglas pueden aplicarse con grandes ventajas al diseño de Transmisiones por Engranajes Cilíndricos de dientes interiores, sin embargo ellas constituyen un campo donde apenas se ha aplicado la Inteligencia Artificial. En la Universidad Central de Las Villas se desarrolló en el año 1995 una Máquina de Inferencia denominada Sistema Inteligente de Ayuda al Diseñador (SIAD). Con la ayuda de este sistema experto, se han elaborado numerosas bases de conocimientos para el diseño de engranajes en general y de Transmisiones Cilíndricas de dientes interiores en particular.

**PALABRAS CLAVE:** Engranajes Interiores, Inteligencia Artificial.

**Key words:** Internal gears, Artificial Intelligence.

## ABSTRACT:

Nowadays Artificial Intelligence has reach a great international level, It is very common today hear about “Knowledge Based Systems”, “Neuronal Nets”, etc. Among the “Knowledge Based Systems” the most commons are the “Frame based Systems”, “Rules Based Systems”, “Case Based Systems” and “Hybrid Systems”. These techniques have been applied with success in different branches of the knowledge. The “Rules Based Systems” (RBS) take into account certain mathematical expressions and restrictions that characterize the object that is being projected. The “Case Based Systems” (CBS) analyze solved problems in an application domain and by means of a process of adaptation; they find the solution to a new problem.

Both systems can be used for gearing design, particularly for internal gears design with great success. However they constitute an unexplored field of Artificial Intelligence Applications. An Inference Machine for solving Rules Based Systems was developed in 1995 at the “Universidad Central de Las Villas” It was denominated “Intelligence System for Helping Designers” (SIAD). By using this expert system, numerous knowledge bases have been elaborated for gear design and particularly for internal gear design.

## INTRODUCCIÓN:

Las transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes, también conocidos como reductores de Ciclo, tienen gran aplicación en la técnica moderna donde se requieren lograr altas relaciones de transmisión, transmitir elevados torques, y tener una alta eficiencia y durabilidad. Estos reductores se utilizan exitosamente en equipos sometidos a severas condiciones de trabajo tales como trituradoras, plantas de asfalto, transportadores de servicio pesado [1], o en otras aplicaciones industriales como robots, equipo de manufactura de semiconductores tales como espaciadores, fabricación de equipo de automatización, y engranes de mecatrónica diseñados para movimiento de alta precisión, etc. Particularmente en

la industria azucarera estos reductores serían una aplicación ideal en el caso de clarificadores y cristalizadores, debido a su alta relación de transmisión y eficiencia.

Pueden existir reductores de Ciclo de engranajes, de cadenas, y de lóbulos entre otros [2]. Los reductores de lóbulos son menos propensos a la interferencia, pero más difícil su elaboración, especialmente para países que no cuentan con un alto desarrollo tecnológico. Por su parte, los tradicionalmente usados engranajes interiores de dientes con perfil evolvente tienen el inconveniente de la interferencia debido a que la diferencia de los números de dientes tiene que ser mínima para lograr una alta relación de transmisión. Generalmente para evitar la interferencia hay que corregir el dentado, pero tanto el estudio de la interferencia como el de la corrección en las relaciones de engranes internos han sido poco abordados a lo largo de la historia en comparación con los de engranes externos, a pesar de que existe coincidencia en que este fenómeno presenta características especiales en este tipo de engranes. [3].

Un requisito indispensable para reproducir una transmisión por engranajes lo constituye el poder tener los parámetros geométricos de la misma y además, contar con los parámetros de control de la transmisión (longitud de la tangente base, espesor del diente, cuerda constante, etc.)

Para poder calcular todos los parámetros geométricos de un engranaje es necesario conocer el módulo, los números de dientes del piñón y la rueda y si existe o no corrección, y por tanto, cuál es su valor. Sin embargo, no siempre es posible conocer todos estos parámetros. En ocasiones se desconoce si los engranajes son corregidos o no, y por otra parte existen transmisiones que fueron diseñadas y talladas por el sistema anglosajón, utilizando el paso diametral o circular como parámetro fundamental. Para rediseñar estas transmisiones, hay que convertir del sistema anglosajón al sistema métrico y determinar el módulo que le corresponde.

Además existen determinadas restricciones o limitaciones que se deben tomar en cuenta en el descifrado, como pueden ser el mantener la distancia entre centros y la relación de transmisión.

La Ingeniería Inversa permite buscar la solución a este problema para determinar el o los parámetros desconocidos, a partir de las mediciones y parámetros conocidos de una transmisión.

En el presente trabajo se definen los conceptos fundamentales de la Inteligencia Artificial, los cuales tienen una amplia aplicación en la Ingeniería Mecánica. Se realiza además un análisis comparativo entre la aplicación de los sistemas basados en regla y los sistemas basados en casos para el diseño de transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes y se ofrece un procedimiento para el descifrado de estos engranajes utilizando la inteligencia artificial.

#### **DEFINICIONES FUNDAMENTALES:**

Para definir la inteligencia artificial, comencemos por definir lo que es Artificial y lo que es Inteligencia.

**Artificial:** Algo hecho por la habilidad o la labor humana, lo opuesto a lo que ocurre naturalmente en la naturaleza. Puede ser algo hecho para imitar o simular algo natural.

**Inteligencia:** Es la adquisición o apropiación de conocimientos en base a la experiencia.

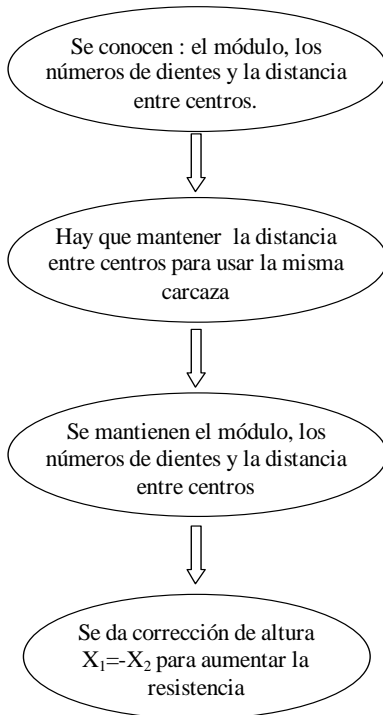
**Inteligencia Artificial:** Por tanto Inteligencia Artificial es algo hecho por el hombre para simular la habilidad humana para adquirir conocimiento de la experiencia, resolver problemas y responder apropiadamente a nuevas situaciones.

**Sistemas Expertos:** Los sistemas expertos usan la Inteligencia Artificial para resolver problemas. Estos sistemas emulan las habilidades de un experto en la solución de un tipo específico de problemas en cuestión. Por lo general los sistemas expertos son sistemas basados en reglas [4]. Las bases de conocimientos en los sistemas expertos deben tener o abarcar un dominio estrecho y no pueden ocuparse o enfocarse a la solución de un gran número de problemas. Muchos sistemas expertos se utilizan en el diseño y en la fabricación. [5]. Los lenguajes de programación que son basados en reglas usan o definen una serie de acciones a ser ejecutadas para una situación particular. Una regla es una sentencia de tipo Si – Entonces (If – Then). El “Si” especifica el dato o serie de datos que hace que se aplique la regla. El “Entonces” especifica las acciones que deben ser tomadas que hacen que la regla se aplique. [6].

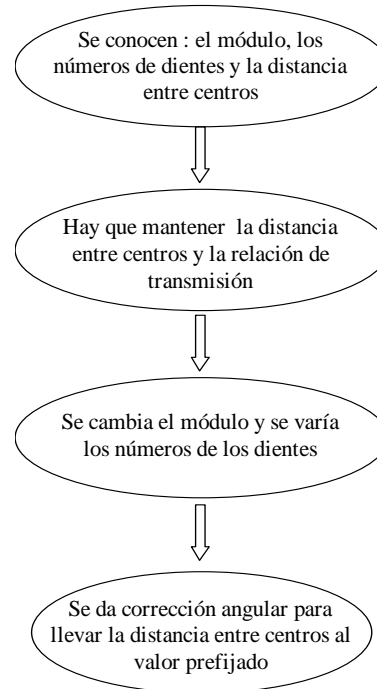
#### **CASOS QUE SE PUEDEN PRESENTAR EN EL DISEÑO O EL DESCIFRADO DE ENGRANES CILÍNDRICOS DE DIENTES RECTOS INTERIORES:**

El diseño para la recuperación de una transmisión por engranajes cilíndricos de dientes rectos considera los siguientes casos:

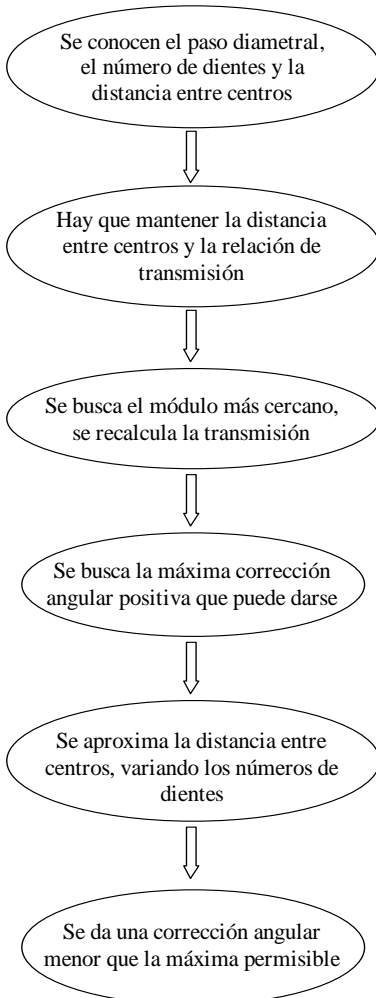
### Caso 1



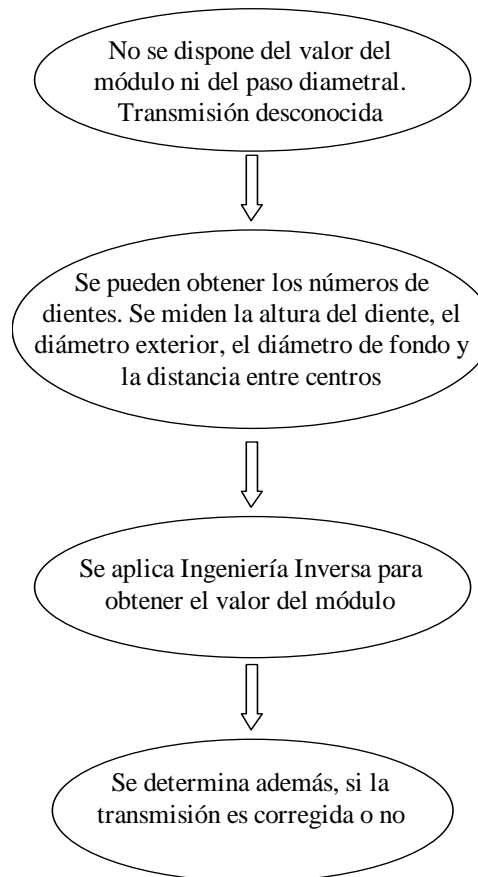
### Caso 2



### Caso 3



### Caso 4



### Figura 1.- Casos que se presentan en el diseño de engranes cilíndricos.

Desarrollar un programa de computación que contemple todas las posibilidades anteriores es una tarea bien difícil, es por ello que en este trabajo se recurre a la Inteligencia Artificial y dentro de ella, 2l área de los Sistemas Expertos.

#### ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA BASADO EN REGLAS

Todo sistema experto o sistema basado en reglas consta de dos partes principales: la base de conocimientos y la máquina de inferencia o máquina de razonamiento. La base de conocimientos de los sistemas expertos contiene tanto el conocimiento "Factual" como el Heurístico. El conocimiento factual es aquel conocimiento del dominio de la tarea, el cual es ampliamente compartido, este se encuentra típicamente en libros de textos y revistas. El conocimiento heurístico es menos riguroso, más basado en la experiencia, más de juicio de acuerdo a la experiencia. Es el arte de las buenas suposiciones. La representación del conocimiento formaliza y organiza el conocimiento. El ingrediente más importante de un sistema experto es el conocimiento. El poder de los sistemas expertos reside en el conocimiento específico de alta calidad que contiene la base de conocimientos.

#### APLICACIÓN DE SISTEMAS BASADOS EN REGLAS AL DISEÑO Y DESCIFRADO DE ENGRANAJES CILÍNDRICOS DE DIENTES RECTOS INTERIORES.

Los sistemas basados en reglas pueden aplicarse con grandes ventajas al diseño de Transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes, sin embargo ellas constituyen un campo donde apenas se ha aplicado la Inteligencia Artificial. Las posibilidades de empleo de los sistemas basados en regla radican en las complejidades y posibles variantes que pueden presentarse tanto en el cálculo geométrico como de resistencia de dichas transmisiones. En la Universidad Central de Las Villas se desarrolló en el año 1995 una Máquina de Inferencia denominada Sistema Inteligente de Ayuda al Diseñador (SIAD). Con la ayuda de este sistema experto, se han elaborado numerosas bases de conocimientos para el diseño de engranajes entre ellos cilíndricos de dientes rectos interiores.

Estas bases de conocimientos dependen precisamente del conocimiento de los que las crearon y permiten resolver la mayoría de los problemas que pueden presentarse en una transmisión por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes, tales como:

- Diseñar tradicionalmente una transmisión por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores, es decir para unas condiciones de trabajo dadas (potencia a transmitir, velocidad angular, etc.) determinar todos los parámetros geométricos y cinemáticos de la transmisión para un material establecido.
- A partir de una transmisión ya diseñada, determinar la potencia que es capaz de transmitir.
- A partir de una transmisión con determinados parámetros geométricos y una potencia dada a transmitir, establecer el material que cumple con los requerimientos dados.
- Determinar si existe o no interferencia del dentado y dar las recomendaciones para disminuirla o erradicarla
- Realizar la Ingeniería inversa de una Transmisión por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores.

En el sistema basado en reglas aparecen dominios, expresiones de cálculo y restricciones. Por ejemplo el módulo, el cual es un parámetro normado debe tener un "dominio" con los valores estandarizados del mismo. Restricciones por ejemplo, en el caso particular de las transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes, pueden ser todas las condiciones que garantizan que no halla interferencia, expresadas a través de sus funciones matemáticas.

Entre las expresiones de cálculo aparecen expresiones de cálculo geométrico, de resistencia, etc.

El lenguaje de escritura de la base de conocimiento se concibió de tal manera que pudiera ser entendido por la mayoría de los Ingenieros. A manera de ejemplo se muestra el procedimiento para el cálculo o introducción de dato según sea el caso del parámetro módulo.

```
[  
m  
%modulo  
@  
1  
2  
3  
4  
5  
@  
/  
→ dpp/Zp  
→ dpc/Zc
```

→ debe ponerse tantas expresiones de cálculo como se pueda para darle más posibilidades a la base de conocimientos.

/  
]

El poner todas las expresiones posibles que relacionan al módulo con el resto de los parámetros permite una mayor versatilidad de la base de conocimientos e inclusive realizar el proceso de Ingeniería Inversa, de manera similar debe procederse con el resto de los parámetros. Es decir que cualesquiera que sean los datos el sistema a través del proceso de inferencia será capaz de hallar una solución.

De la misma forma se procedió con la velocidad de deslizamiento, las tensiones de contacto, la potencia, las tensiones de flexión, etc.

En la figura 2 se muestra la pantalla de datos a suministrar y en la figura 3 los resultados luego de haber sido realizado el proceso de inferencia.

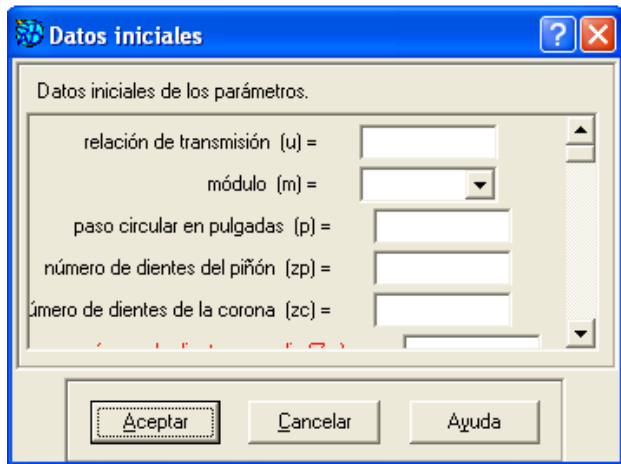


Figura 2. Introducción de datos

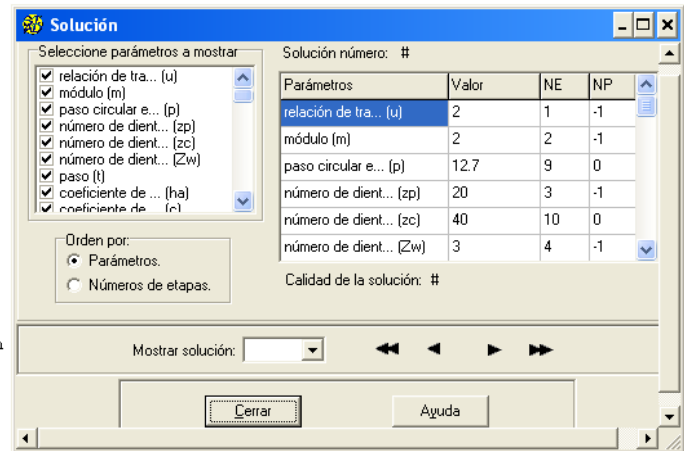


Figura 3. Resultados

## EL RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS

El RBC significa usar viejas experiencias para comprender y resolver nuevos problemas. En él quien razona recuerda una situación previa, similar a la actual y usa esto para resolver el nuevo problema. En general, un Caso consiste en la descripción de un problema y la solución dada al mismo. La resolución de problemas basada en casos se lleva a cabo recuperando los casos similares desde la Base de Casos y usando de nuevo estos casos con o sin adaptación. La aplicación del Razonamiento Basado en Casos al diseño promete las siguientes ventajas:

- Un SBC no requiere un modelo completo del dominio, pero puede producir diseños completos y complejos aún con una pequeña base de conocimientos.
- El diseño comienza por casos completos, que incluyen las conexiones o vínculos entre diversas funciones. Esto permite evadir el problema de la optimización de múltiples criterios.
- Al comenzar con casos completos se reduce la complejidad y se incrementa la eficiencia al solucionar el problema.
- Usar casos como fuente de conocimiento facilita el aprendizaje mediante el simple almacenamiento de nuevos casos.

El diseñador a la hora de elaborar un caso, primero debe decidir qué lo comprende y conforma, ya que éste no es más que la descripción de un problema y la solución dada al mismo.

## ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA BASADO EN CASOS

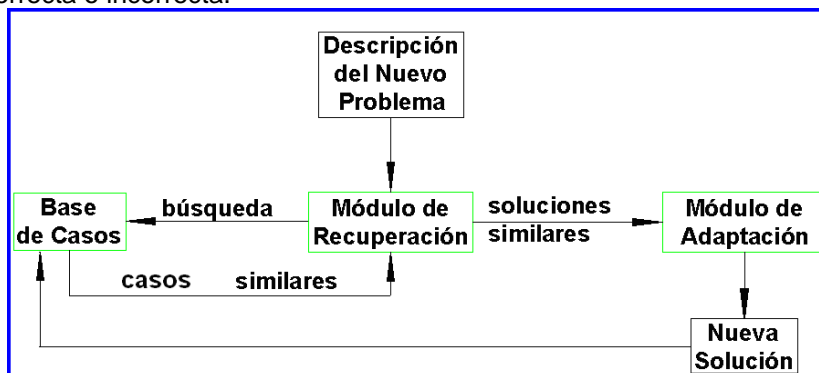
Un SBC típico consta de 3 partes principales: la Base de Casos (B.C.), el Módulo de Recuperación (M.R.) y el Módulo de Adaptación (M.A.) (Figura 4).

Los "casos" son problemas resueltos y almacenados en la base de casos. Cuando hay un nuevo problema que resolver, éste es descrito para el módulo de recuperación, el cual realiza una búsqueda en la base de casos y encuentra problemas o casos similares. Estos problemas o casos similares resueltos son recuperados (caso recuperado) y enviados al módulo de adaptación, donde son analizados para construir una solución para el nuevo problema.

Una vez hallada la solución, se almacena junto con la descripción del problema en la base de casos, ya que constituye un nuevo caso.

Los casos se distinguen de otras formas de conocimiento o experiencia porque ellos son ejemplos específicos de hechos. Cualquier intento de automatizar el RBC lleva implícito el problema del almacenamiento de las experiencias (casos). Este debe contener la descripción del problema o situación; una solución, es decir

información que no pueda ser derivada a partir del nivel actual de conocimiento y por último, información acerca de si la solución fue correcta o incorrecta.



**Figura 4. Estructura de un sistema basado en casos.**

Para almacenar los casos debe usarse una memoria o base de casos que posea propiedades similares a la memoria humana tales como: Ser ilimitada, en la medida que la memoria crezca no puede hacerse más lenta, debe permitir buscar directamente los elementos de memoria que sean relevantes a un problema.

Esta capacidad de la base de casos hace posible que pueda ser usada para sustituir el archivo de diseño, pero ella debe poseer una característica adicional que la haga diferente a una base de datos convencional, y es su capacidad para organizar los casos de forma tal que se reduzca al mínimo la búsqueda cuando se intenta buscar el caso más semejante a un problema dado. Así mismo, los sistemas basados en casos tienen como parte componente importante de los mismos el módulo de recuperación y el módulo de adaptación. El módulo de recuperación es el encargado de realizar la búsqueda del caso o los casos más semejantes a un problema dado, auxiliándose para ello de las funciones de semejanza. Estas son diferentes para cada tipo de caso y permite establecer un criterio de equivalencia entre estas últimas. El mecanismo de recuperación en un SBC asegura que los casos más relevantes sean recuperados para el problema dado, siendo este quizás, el resultado más importante del RBC. Los casos relevantes son aquellos que coinciden con la mayoría de los rasgos del problema presente. La aplicación de la recuperación está estrechamente relacionada con las aplicaciones de indización y organización de la memoria.

El acercamiento a la solución puede hacerse mediante un algoritmo de acceso a la base de casos utilizando factores de comparación de los rasgos de semejanza y, finalmente, emplear alguna expresión matemática de las recomendadas por la literatura como función de semejanza. Después de seleccionados y recuperados los diseños más parecidos, se procede a elaborar el nuevo, modificándolo de ser necesario. Este diseño obtenido como resultado final, será incorporado en la Base de Casos como uno más; lo que permitirá, como ya se ha explicado, que el sistema se desarrolle aprendiendo de él mismo. En el establecimiento de los métodos de adaptación se hace imprescindible el conocimiento de los expertos en este dominio.

La adaptación de un caso puede ser llevada a cabo ya sea por la transformación de un caso solo para ajustarlo a los requerimientos de la nueva situación, o mediante la composición apropiada de partes de varios casos. La adaptación a menudo es muy difícil y puede ser eludida del todo, es por esto que ella ha recibido mucha menos atención que la recuperación. Sin embargo, este es un problema central para el diseño de un SBC. En la bibliografía revisada existen sistemas que no tienen adaptador [7], [8].

### **APLICACIÓN DEL RBC AL DISEÑO DE TRANSMISIONES POR ENGRANAJES CILÍNDRICOS DE DIENTES RECTOS INTERIORES CON MÍNIMA DIFERENCIA ENTRE LOS NÚMEROS DE DIENTES**

Uno de los métodos de la Inteligencia Artificial que puede usarse para el diseño de Transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes es el RBC. En el caso particular del diseño de estas transmisiones es difícil definir el mecanismo a seguir para elaborar un nuevo diseño, sobre todo en lo referido a la determinación de la secuencia de pasos, porque existen ciertas reglas comúnmente aceptadas y muchas recomendaciones, pero no hay un solo camino para resolver la tarea, y a menudo más de una solución es aceptable. Sin embargo, los diseñadores no tienen siempre acceso a los casos requeridos, ya que se encuentran dispersos en los archivos de diseño, en publicaciones, en su memoria o la de otros diseñadores. Los sistemas basados en casos son capaces de almacenar la experiencia acumulada por diferentes diseñadores e ingenieros, ya que son almacenadas en soportes de información y dan la posibilidad al usuario de interactuar con ellos cuando lo necesite. Esta característica presupone la eliminación paulatina del archivo de diseño tradicional, y la puesta a disposición de todos, la experiencia de todos.

La explotación de un sistema basado en casos trae consigo:

- La incorporación de nuevos diseños comprobados.
- La mejora de los diseños existentes.
- Una disminución en el tiempo de elaboración del diseño.
- La posibilidad de elaborar variantes para compararlas en busca de la mejor.
- Mejorar la calidad y competitividad de los diseños.

En las Transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes un caso es el plano del engranaje y está compuesto por:

1. Especificaciones mínimas necesarias para comenzar el diseño (descripción del problema).
2. El plano de la rueda dentada (solución del problema).

Las especificaciones mínimas necesarias para comenzar el diseño contienen:

- La potencia a transmitir.
- La velocidad angular
- El material
- Características funcionales de la Transmisión (en qué equipo va a trabajar la pareja de ruedas dentadas).
- Equipamiento tecnológico para acometer su posible construcción.

El plano del taller contiene la descripción de la pieza terminada, que incluye, entre otros datos, módulo, factor de rigidez, dimensiones, tolerancias, acabados superficiales, etc., expresados según determinadas normas.

De las especificaciones mencionadas anteriormente, las dos primeras son imprescindibles para acometer el diseño de una transmisión por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes, ya que el material puede ser seleccionado por el diseñador. Casi nunca se guarda en los archivos de diseño la potencia, velocidad angular y características de los equipos que dan lugar al diseño de la transmisión por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes. Significa lo anterior que pueden existir especificaciones mínimas necesarias para comenzar el diseño (descripción del problema) sin planos de taller (solución del problema) que es lo lógico en el proceso de diseño, pero no lo más frecuente en la vida práctica de los departamentos de diseño. Pero también se puede tener un plano de taller (solución del problema) sin descripción del problema. En ocasiones se cuenta con ambas componentes y en otras no se cuenta con ningún componente, y se desea diseñar.

Teniendo en cuenta los aspectos señalados anteriormente, todo apunta a indicar que la mejor solución al problema del diseño de transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes es utilizar Sistema Híbridos, donde se combinan los sistemas basados en casos con los sistemas Basados en Reglas.

Cuando se presenta un problema nuevo, no contemplado en la base de casos, el mismo se soluciona a través de un sistema experto, es decir a través de un sistema basado en reglas, y luego la solución de este problema y la descripción del mismo pasan a formar parte de la base de casos.

Cuando se tiene la descripción del problema y su solución, se entran a través del sistema basado en reglas y se realizan las correspondientes comprobaciones (resistencia al contacto, resistencia a la flexión, restricciones geométricas, etc.). Luego de esto es que el caso puede ir a formar parte de la BC. Este paso de realizar las comprobaciones se efectúa como validación de los casos, es decir, que los casos que van a formar parte de la BC, estén previamente comprobados. Esto no quiere decir que sea el mejor diseño o el óptimo, pero sí una variante de diseño sin falla.

Con respecto a lo anterior, hay que tener en cuenta que los casos almacenados deben ser suficientemente diferentes entre sí como para no hacer crecer innecesariamente la base de casos (lo que podría hacerla inoperante); pero los casos almacenados no deben ser tan diferentes entre sí, que traiga como consecuencia que al realizar una búsqueda o recuperación no aparezca al menos un caso suficientemente similar al nuevo problema. También toma fuerza la idea de que en alguna parte del sistema deben aparecer observaciones vinculadas a cada caso en las que se guarden las experiencias de casos resueltos y cómo se resolvieron, advertencias, sugerencias, etc.

Si se posee la descripción del problema únicamente, ésta se entra a través del sistema basado en casos e inmediatamente el módulo de recuperación va a la BC, a través de una función de semejanza y de los rasgos de semejanza y localiza él o los casos semejantes (descripción y solución del problema), lo devuelve y a través del módulo de adaptación, que no es más que el propio sistema basado en reglas, se modifica o constituye ya la solución del problema planteado.

Como se dijo, existen otras dos variantes: cuando se poseen los planos de la transmisión y cuando no se posee ni la descripción ni la solución. En la primera variante se pueden tener dos objetivos:

- 1.- Que la transmisión pase a formar parte de la BC.

2.- Realizar la comprobación de la transmisión por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes.

Cuando se tiene el primer objetivo, el sistema basado en reglas tiene que ser capaz, con pocos datos (potencia, velocidad de rotación etc.) de conformar el sistema de cargas y luego realizar las correspondientes comprobaciones. Así es que la transmisión puede llegar a formar parte de la BC. Para cumplir el segundo objetivo se emplea el sistema basado en reglas única y exclusivamente. En la segunda variante, cuando no se tiene la descripción ni la solución, el usuario debe conocer algunos aspectos o tomar algunas decisiones con respecto a: Condiciones de Trabajo, Material, Potencia, Velocidad de rotación, etc.

Entonces es que utilizando el sistema basado en reglas se puede llegar a diseñar el engranaje (descripción del problema y solución) y luego decidir si va a formar parte de la BC. El ambiente del Sistema Híbrido para engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes, es la integración del Sistema basado en reglas y el Sistema basado en casos. Por tanto el Sistema basado en reglas debe tener dos opciones adicionales:

ALMACENAR: mediante la cual se guardarán en la base de casos los tornillos sin fin que son entrados por cualquiera de las dos variantes de entrada.

RECUPERAR: a través de esta opción el sistema, después de entrado el nuevo problema, podrá ir a la Base de Casos y buscar un caso que se aproxime lo más posible al entrado, mostrarlo y a partir de aquí comenzar a través de las opciones del propio sistema basado en reglas la adaptación del caso.

## CONCLUSIONES

Los SBC aplicados al diseño de piezas pueden convertirse en substanciales auxiliares de los diseñadores mecánicos para mejorar la competitividad de sus empresas.

En la bibliografía especializada consultada no hay referencia de ningún sistema híbrido para el diseño de Transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes, por lo que este es un campo con inmensas posibilidades de trabajo.

Las técnicas del Razonamiento Basado en Casos ofrecen una opción adecuada para crear un sistema capaz de elaborar el diseño de engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes, por cuanto sigue la misma lógica del diseñador al abordar esta tarea.

La estructura de un sistema híbrido da respuesta a las tareas fundamentales que se plantean en la bibliografía como problemas comunes a resolver cuando se diseña una Transmisión por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes y es particularmente útil en el caso del descifrado de estos engranajes

La aplicación del sistema híbrido en las industrias mecánicas ha contribuido al diseño de Transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes más exactas y eficientes.

## REFERENCIAS:

1. Becerra F. Ana M. "Determinación de la interferencia en transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos interiores con mínima diferencia entre los números de dientes". Memorias de la Segunda Conferencia de Ingeniería Mecánica COMEC 2004. Santa Clara Cuba. Noviembre de 2004.
2. Moya R.J. Moreno D.A. "Nuevas tendencias en las transmisiones por engranajes". Actas del Primer Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Madrid Septiembre de 1993.
3. Buckingham E, Dudley Darle W. "Manual de Engranajes". Editorial CECSA, 1980
4. Kendall, K and Julie Kendall (1998) Systems Analysis and Design. Upper Saddle River: Prentice Hall.
5. Hluck, G (1996) Expert Systems Tutorial [www document] <http://carlislewww.army.mil/usawc/daa/psu/hluck/es.htm> Última actualización: 6 de Diciembre, 1996. Consulta 10 de April, 1999.
6. Riley, G (1997) What are expert systems? [www document] <http://www.ghgcorp.com/clips/ExpertSystems.html> Última actualización: January 7, 1997. Consulta 10 de Abril, 1999
7. Kefeng, H. y Faltings, B., 1993, Exploring case- based building design: CADRE. AI- EDAM Magazine. No. 2 Vol. 7. (pág.135-143). England.
8. Raphael, B. y Kumar, B., 1996, Indexing and Retrieval of Cases in a Case - Based Design System. AI EDAM Magazine No 5. Vol 10. (pág. 47-63). England.

## UNIDADES Y NOMENCLATURA

<i>m</i>	módulo (mm)
<i>Z<sub>p</sub></i>	número de dientes del piñón (adimensional)
<i>Z<sub>c</sub></i>	número de dientes de la corona (adimensional)
<i>d<sub>pp</sub></i>	diámetro de paso del piñón (mm)
<i>d<sub>pc</sub></i>	diámetro de paso de la corona (mm)