

Sistema Basado en Casos para el diseño de engranajes cilíndricos con contacto exterior

Case based system for the design spur and helical external gear

Robert Hernández-Ortega, César A. Chagoyén-Méndez, Feliberto Fernández-Castañeda, Jorge Laureano Moya-Rodríguez

Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica. Cuba

Correo electrónico: robertho@uclv.edu.cu

Recibido: 28 de octubre de 2012

Aceptado: 15 de febrero de 2013

Resumen

El objetivo de este trabajo fue obtener un sistema Basado en Casos mediante la combinación del Razonamiento Basado en Casos y de las técnicas CAD CAE (*Computer Aided Design, Computer Aided Engineering*), para mejorar la utilización de la experiencia acumulada por los diseñadores, en la realización de nuevos diseños de transmisiones por engranajes cilíndricos con contacto exterior. La base de casos se obtuvo de la información almacenada en el archivo de diseño de una empresa de producciones mecánicas. La recuperación de las transmisiones se realiza combinando una consulta de selección y la técnica Vecino más Cercano. Como índices se utilizan los datos iniciales del diseño cuya importancia relativa se estableció mediante criterio de Experto. De esta manera, con la combinación de un sistema de gestión de bases de datos y un sistema CAD CAE resulta posible la reutilización de transmisiones diseñadas anteriormente, con o sin modificación, en nuevas aplicaciones.

Palabras claves: razonamiento basado en casos, engranajes, diseño.

Abstract

The aim of this work is to obtain a Case Based System by means of the combination of the Case Based Reasoning and CAD CAE (Computer Aided Design Computer Aided Engineering) technique to improve the use of the accumulated experience by the designers in the realization of new spur and helical cylindrical external gear designs. The case base was obtained from the information stored in the design files of the mechanical productions company. The recovery of the transmissions is carried out combining a selection query and the nearest neighboring technique. The initial data of the design are used as indexes whose relative importance settled down by means of Experts criteria. This way, the combination of database management system and CAD CAE system makes possible to use again previously designed transmissions, with or without modification, in new applications.

Key words: case based reasoning, gear, design.

Introducción

Un diseño nuevo generalmente se comienza a partir de otro existente que ya tiene algunos de los requisitos básicos que se necesitan garantizar. El diseño inicial se ajusta entonces para cumplir con las nuevas especificaciones. Esto hace que el diseño sea un dominio conveniente para la aplicación del Razonamiento Basado en Casos (RBC) [1].

El RBC se descompone en las siguientes fases: recuperación: reuso, revisión y retención.

La descripción inicial de la tarea a realizar define un nuevo problema. Este se utiliza para la recuperación de uno o más casos similares. La solución contenida en uno de los casos recuperados se usa para inferir una solución al problema en cuestión, la solución obtenida se revisa o comprueba y por último se retiene, mediante la incorporación del nuevo caso a la Base de Casos (BC) para ser usado en el futuro [1-3].

El RBC se ha utilizado en aplicaciones relacionadas con las transmisiones por engranajes en los siguientes trabajos: Lixin y otros desarrollaron un sistema inteligente para la detección de fallas en los engranajes de los laminadores que utiliza, entre otras técnicas, el RBC para la obtención del resultado del diagnóstico en forma de texto e imágenes [4]. Xianchun y otros aplican el RBC para reutilizar planes de proceso de manufactura de engranajes prestando especial atención al impacto ambiental del mismo [5]. Olsson y Funk almacenan en la BC el sonido correspondiente al trabajo normal y al trabajo con fallas de los engranajes de robots industriales. Al presentarse un sonido desconocido se recupera de la BC el más similar obteniéndose de esta forma un diagnóstico [1,6]. Estas aplicaciones aunque se relacionan con las transmisiones por engranajes no están orientadas al diseño de las mismas.

Xing y otros desarrollaron un Sistema Basado en Casos (SBC) para el diseño expedito de semi tráileres. Este sistema realiza la recuperación calculando la semejanza entre el nuevo problema y los diseños almacenados en la BC por la ecuación de semejanza de la técnica Vecino más Cercano. Los índices que se utilizan son los requerimientos del cliente tales como número de ejes, masa total, carga, y propósito del tráiler. El sistema prevé las herramientas necesarias para que el diseñador pueda revisar y adaptar los casos recuperados y retener los nuevos diseños así como realizar un diseño totalmente nuevo en caso de que no se recupere ningún caso lo suficientemente similar [7]. Qinl y Regli desarrollaron un SBC para el diseño de cojinetes de rodamiento que recupera diseños anteriores de la BC y por medio de técnicas de adaptación los adecua a los requerimientos del nuevo problema. El mismo consta de cuatro módulos, el primero, recupera los casos, el segundo decide si el caso recuperado necesita ser adaptado o no, el tercero realiza la adaptación y el cuarto decide si el nuevo caso resuelto debe ser almacenado en la BC. Como índices para la recuperación del conjunto de casos semejantes se utilizan el diámetro del árbol y la dirección de la carga sobre el rodamiento, por medio de la técnica Vecino más Cercano se define el caso más similar al nuevo problema [8]. Estos sistemas, aunque están destinados al diseño mecánico, no se ocupan del diseño de transmisiones por engranajes.

Aimin y otros desarrollaron un SBC para el diseño de reductores por engranajes cilíndricos de dos pasos. Este sistema está formado por una BC en Access que contiene los diseños de un número importante de reductores almacenados por partes. Mediante la técnica Indexado Inductivo se recupera un grupo de casos similares que se ordenan de acuerdo al grado de similitud por la ecuación de la técnica Vecino más Cercano. Los índices que se utilizan son: potencia, relación de transmisión y vida útil. La adaptación del reductor recuperado a las nuevas condiciones de explotación se realiza modificando las transmisiones por engranajes fundamentalmente [9]. Este sistema está destinado al diseño de reductores y no específicamente al diseño de transmisiones por engranajes.

Changwei y otros utilizan el RBC en un sistema basado en el conocimiento para el diseño de engranajes cónicos [10]. Moya y otros desarrollaron un sistema basado en reglas y casos para el diseño de transmisiones por tornillo sin fin [11]. Estos sistemas, aunque trabajan en el dominio de las transmisiones por engranajes, no están destinados específicamente al diseño de transmisiones por engranajes cilíndricos con contacto exterior.

De esta forma, se puede resumir, que no se tiene evidencia del desarrollo de un SBC destinado específicamente al diseño de transmisiones por engranajes cilíndricos con contacto exterior.

Las transmisiones por engranajes cilíndricos con contacto exterior constituyen uno de los elementos de máquinas más difundidos en las construcciones mecánicas. Se utilizan en diversos campos de aplicación en las formas constructivas y tamaños más variados. En la actualidad el diseño de estas transmisiones se realiza de forma automatizada, por medio de *software* profesionales que permiten obtener una solución satisfactoria en correspondencia a las condiciones concretas que se exigen, sin embargo, la utilización del conocimiento acumulado en la solución de nuevos problemas de diseño se realiza solo parcialmente dependiendo de la memoria de la persona que realiza esta actividad. Este trabajo tiene como objetivo la obtención de un SBC

mediante la combinación del RBC y de las técnicas CAD para mejorar la utilización de la experiencia acumulada por los diseñadores en la realización de nuevos diseños de transmisiones por engranajes cilíndricos con contacto exterior.

Materiales y Métodos

La fase de recuperación comienza con el nuevo problema y termina con la obtención del caso más semejante [1]. La recuperación de los casos apropiados basándose en la similitud entre el nuevo problema y los casos o problemas resueltos anteriormente es la tarea más importante de un SBC [1, 3]. Un caso no es más que un conjunto de información que abarca el planteamiento de un problema y su solución [1].

Una técnica ampliamente utilizada para la recuperación es el indexado de los casos que consiste en la selección de atributos lo suficientemente específicos como para usarlos de discriminante y lo suficientemente abstractos como para poder generalizar el caso. Por supuesto, también deben de ser fáciles de obtener y de computar y su cantidad debe ser la menor posible ya que por cada característica indexada hay que realizar un cálculo de similitud lo que disminuye la velocidad de la recuperación [1,12].

En la mayoría de los SBC para el diseño mecánico consultados en la bibliografía como índices se han seleccionado los requerimientos o restricciones del nuevo diseño [7-9]. Este es el criterio que se utiliza en este trabajo, es decir, como índices se seleccionan aquellos atributos de una transmisión por engranajes que el diseñador tiene como requerimientos para realizar el diseño.

El diseño de las transmisiones por engranajes se realiza cuando se necesita accionar una máquina que demanda una potencia y velocidad necesarias para su correcto funcionamiento o cuando se tiene una transmisión real que por alguna causa se necesita reponer.

En el primer caso, los datos para el diseño de la transmisión son: [13]

1. Potencia que demanda la máquina (P).
2. Relación de engrane (u_z).
3. Velocidad de entrada (n_1).
4. Tipo de máquina accionada.
5. Tipo de motor.

En el segundo caso la tarea de diseño se reduce a obtener los parámetros geométricos con que se realizó el diseño original. Estos parámetros, que definen totalmente las dimensiones de las ruedas en el plano frontal, son:

1. Módulo (m).
2. Número de dientes del piñón (z_1).
3. Número de dientes de la rueda (z_2).
4. Ángulo de inclinación de la hélice en el diámetro primitivo (β).
5. Distancia entre centros (a_w).
6. Coeficientes de corrección del piñón (x_1) y de la rueda (x_2).

En la norma ISO 6336 para el cálculo de engranajes cilíndricos se establecen 4 grupos de motores [14]. La mayoría de los motores eléctricos entran en el primer grupo. Como generalmente el tipo de motor que se utiliza en la industria es eléctrico se elimina esta variable como índice ya que su variación en la BC es pequeña. Se eliminan también los coeficientes de corrección del piñón y de la rueda teniendo en cuenta que en el proceso de descifrado de los parámetros geométricos de la transmisión estas variables son las últimas en obtener y el hecho de que al conocer las variables módulo, número de dientes de las ruedas, distancia entre centros y ángulo de inclinación del diente la suma de los coeficientes de corrección del piñón y de la rueda queda definida.

La importancia relativa de los índices fue determinada mediante criterio de Experto y se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Importancia relativa de los índices

Nº	Índices	Importancia Relativa (w)
1	Potencia que demanda la máquina.	1,0
2	Relación de engrane.	0,8
3	Velocidad de entrada.	0,7
4	Tipo de máquina accionada.	0,5
5	Módulo.	1,0
6	Número de dientes del piñón.	0,7
7	Número de dientes de la rueda.	0,7
8	Ángulo de inclinación de la hélice en el diámetro primitivo.	0,6
9	Distancia entre centros.	0,8

Con los índices definidos y considerando la definición del caso dada anteriormente, se puede definir un caso, en este SBC, como la unidad de información que contiene los valores de los índices (planteamiento del problema) y los planos de las ruedas (solución) (Fig. 1).

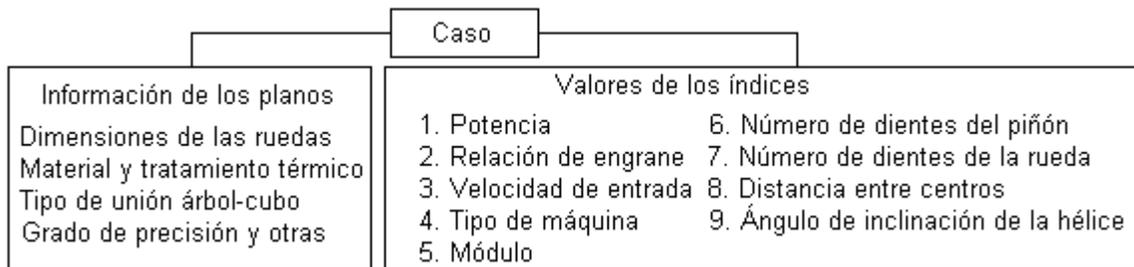


Fig. 1. Caso en el SBC para el diseño de engranajes cilíndricos con contacto exterior

Con la definición del caso se conforma la BC a partir de la información del archivo de diseño del departamento técnico de una fábrica de producciones mecánicas. La misma se compone inicialmente por 75 transmisiones diseñadas y fabricadas en esta industria y con un desempeño satisfactorio en su explotación. En la figura 2 se muestra, a modo de ejemplo, como está representado el índice de relación de engrane en la BC.

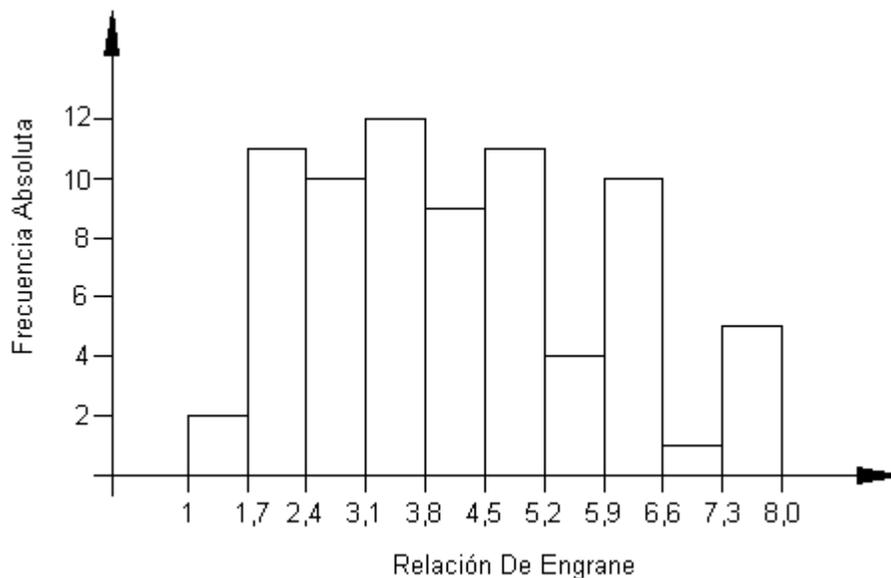


Fig. 2. Variación de la relación de engrane en la BC

La recuperación de los casos más semejantes suele dividirse en dos etapas: Una primera en la cual se obtiene un conjunto de casos posibles y una segunda, para seleccionar el mejor del conjunto. Las técnicas más comúnmente utilizadas para ello son: Recuperación Inductiva y Vecino más Cercano [9].

La técnica Recuperación Inductiva consiste en la preparación previa de un árbol de decisión a partir del cual se recupera un conjunto de casos similares al nuevo problema. Así, por ejemplo, en el SBC para el diseño de reductores [9] se utiliza un árbol de decisión construido a partir de la discretización de los índices: potencia, relación de transmisión, vida útil y eficiencia. Sin embargo, la construcción de un árbol de decisión a partir de la discretización de los índices que constituyen variables continuas, no puede garantizar que en el conjunto de casos recuperados estén todos los posibles candidatos. Puede suceder que en el intervalo anterior o posterior al intervalo donde está el valor del índice del nuevo problema, se encuentren casos más similares. Es por ello que en este trabajo se decide no utilizar la Recuperación Inductiva, y en su lugar, recurrir a una consulta de selección combinada con la técnica del Vecino más Cercano. Mediante la consulta de selección se recuperan de la BC aquellas transmisiones en las cuales el valor de sus índices se encuentra en el intervalo:

Valor del índice del nuevo problema \pm Porcentaje de aproximación

Este porcentaje de aproximación lo establece el diseñador de acuerdo a los requerimientos del diseño que se realiza. El conjunto de transmisiones recuperadas se ordenan de acuerdo al grado de similitud con el nuevo problema mediante la técnica "Vecino más Cercano". Para ello se determina la semejanza entre el nuevo problema y cada uno de los casos del conjunto por la siguiente ecuación: [3]

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot \delta_i(u_i, v)}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (1)$$

Donde:

S: Semejanza entre el nuevo problema y el caso i.

w_i : Importancia relativa (tabla 1).

N: Cantidad de índices.

$\delta_i(u_i, v)$: Función de comparación por índices que se obtiene de la ecuación:

$$\delta_i(u_i, v) = 1 - \frac{|u_i - v|}{u_{Máximo} - u_{Mínimo}} \quad (2)$$

Donde:

u_i : Valor del índice del caso i en la BC.

v: Valor del índice en el nuevo problema.

$u_{Máximo}$: Valor máximo del índice en la BC.

$u_{Mínimo}$: Valor mínimo del índice en la BC.

Con la obtención del conjunto de casos semejantes ordenados en forma descendente de acuerdo al valor de la función de semejanza calculado por la ecuación 1 finaliza la fase de recuperación.

En la actualidad, en la mayoría de los SBC, se reutiliza la solución de mayor similitud sugerida por el sistema sin adaptación o se adaptada manualmente [2]. Este es el caso de la mayoría de los SBC para el diseño mecánico referenciados en la bibliografía [7-9] y también de este sistema. La fase de reúso o adaptación comienza con la visualización de los planos de la transmisión de mayor semejanza recuperada. El diseñador, al analizar estos planos, resuelve qué decisión tomar. Puede suceder cualquiera de las siguientes variantes:

- Una de las transmisiones recuperadas se puede utilizar sin realizar modificación alguna en las nuevas condiciones.
- Ninguna de las transmisiones recuperadas se puede utilizar con o sin modificación en las nuevas condiciones de explotación por lo que no queda otra opción que realizar un nuevo diseño.
- Una de las transmisiones recuperadas se puede modificar para ser utilizada en las nuevas condiciones. Esta modificación se realiza fundamentalmente sobre aquellas variables que no han sido seleccionadas como índices. El nuevo diseño, obtenido a partir del caso modificado, se comprueba para verificar su geometría y resistencia (Fase de revisión).

Como se puede observar las fases de reúso y revisión están muy relacionadas. Puede suceder que durante el reúso o adaptación y la revisión o comprobación de un mismo caso se pase de una fase a otra varias veces hasta lograr que la transmisión modificada cumpla con los requisitos del nuevo problema.

El nuevo diseño obtenido se almacena en la BC (Fase de Retención) para su utilización en la solución de nuevos problemas de diseño o sencillamente para su fabricación.

Para almacenar los casos se utiliza un Sistema de Gestión de Bases de Datos Relacionales (SGBDR). Los casos se almacenan en tres tablas con relación uno a uno. Una tabla denominada “Piñones”, que contiene la información de los piñones, otra llamada “Ruedas”, de igual estructura, con la información de las ruedas y una tercera denominada “Transmisión” donde se encuentra la información común a ambas ruedas. Como sistema CAD CAE se utiliza un software o combinación de software que permita visualizar y editar los planos de las transmisiones así como la realización de las comprobaciones geométricas y de resistencia necesarias.

Resultados y Discusión

La estructura general del modelo propuesto se muestra en la figura 3.

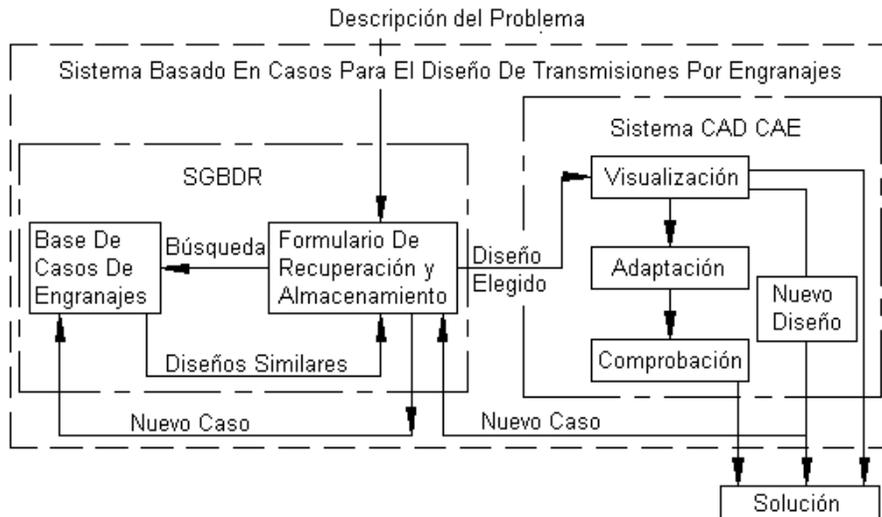


Fig. 3. Estructura general del modelo propuesto

Los valores de los índices, según sea el tipo de diseño que se realiza, constituyen la “Descripción del Problema”, Con ellos se realiza la búsqueda en la BC por medio del “Formulario de Recuperación y Almacenamiento” que se muestra en la figura 4.

Base de Casos de Transmisiones por Engranajes												
Piñón					Rueda							
Transmisión N°	54	P	30	kW	m	3.5	mm	Uz	1.82	β	9.1	°
Máquina	Combinada Cañera	n1	1350	rpm	aw	140	mm	Z1	28	Z2	51	
Datos Para el Nuevo Diseño												
Semejanza	0	P	0	kW	m	0	mm	Uz	0	β	0	°
Máquina		n1	0	rpm	aw	0	mm	Z1	0	Z2	0	

Fig. 4. Formulario de Recuperación y Almacenamiento

El formulario de recuperación y almacenamiento muestra en la parte superior "Base de Casos de Transmisiones por Engranajes" los planos del piñón y de la rueda conjuntamente con los valores de sus índices. En la parte inferior "Datos Para el Nuevo Diseño" se muestran los índices del nuevo problema. Una mejor visualización se obtiene al hacer doble clic sobre los planos de las ruedas recuperadas. Con ello se abre el sistema CAD CAE y el diseñador tiene la posibilidad de realizar las modificaciones necesarias para adaptar la transmisión a las nuevas condiciones de trabajo. Una vez modificada la transmisión se realizan las comprobaciones geométricas y de resistencia necesarias. La nueva transmisión se almacena en la BC a través del propio formulario de recuperación y almacenamiento de la figura 4.

Las variables que se utilizan como índices: z_1 , z_2 , β , a_w , u_z y m no son independientes. Esto significa que en la medida que se va definiendo el valor de cada una de ellas el conjunto de valores posibles de las que no se han definido se va reduciendo. Así por ejemplo para un valor de $z_1 = 28$, $z_2 = 51$, $\beta = 9,1^\circ$, y $a_w = 140$ mm el valor de u_z es 1,82 y el único valor posible del módulo es 3,5. Para lograr que esto se realice automáticamente se han correlacionando los parámetros geométricos mediante los contornos de bloqueo.

Cuando el diseño tiene como objetivo obtener una transmisión para accionar una máquina que demanda una potencia y velocidad necesarias para su correcto funcionamiento los índices que se utilizan para realizar la búsqueda, como se ha dicho, son: potencia que demanda la máquina, relación de engrane, velocidad de entrada y tipo de máquina accionada. El diseñador, en cada caso concreto, decide como realizar la consulta de selección, por ejemplo, si se necesita garantizar con suficiente precisión la velocidad de la máquina movida a partir de la velocidad del motor entonces la relación de engrane de las transmisiones que se recuperen debe ser cercana a la relación de transmisión necesaria. Esto se puede lograr asignando un porcentaje de aproximación pequeño para la relación de engrane. Para el resto de los índices el porcentaje de aproximación puede ser mayor. En la tabla 2 se muestran las transmisiones de reductores por engranajes cilíndricos de dos pasos recuperadas para una potencia de 17,6 kW, una velocidad de entrada de 125,6 rad/s (1200 rpm.) y una relación de engrane necesaria de 2,81. Aquí se ha utilizado un porcentaje de aproximación igual a 5 para la relación de engrane y de 20 para la potencia y la velocidad. Las transmisiones se han ordenado de acuerdo al valor de la semejanza calculado por las ecuaciones 1 y 2.

Tabla 2. Casos recuperados para $P=17,6$ kW, $u_z=2,81$, $n_1=1200$ rpm

Nº	Máquina	P	n_1	u_z	z_1	z_2	m	a_w	β	Semejanza
6	Reductor	15	1000	2,81	26	73	3	150	8,1094	0,977
5	Reductor	20	1450	2,81	26	73	3	150	8,1094	0,973
1	Reductor	10	1600	2,81	26	73	2	100	8,1094	0,947
21	Reductor	60	950	2,81	26	73	5	250	8,1094	0,862

Aunque el sistema posibilita la reutilización de transmisiones anteriormente diseñadas en nuevas aplicaciones no exige de la necesidad del diseñador de engranajes para el reuso del conocimiento expresado en las transmisiones recuperadas. El reuso o adaptación de la transmisión se realiza por el diseñador con ayuda del sistema CAD CAE. En la tabla 2 se observa que la transmisión 6 es la más semejante al nuevo problema. En este caso, por ejemplo, el diseñador tiene que analizar los planos de las ruedas y decidir que modificaciones se pueden realizar para lograr un aumento en la potencia que puede transmitir la transmisión sin modificar los parámetros geométricos z_1 , z_2 , β , a_w , y m ya que al modificar la geometría de las ruedas se está haciendo un diseño totalmente nuevo. Entre los aspectos que con más frecuencia se modifican para aumentar o disminuir la capacidad de carga de una transmisión se encuentran: el tipo de material y su calidad, el tratamiento térmico, el ancho de las ruedas, los coeficientes de corrección, el grado de precisión, los árboles que soportan las ruedas y la ubicación de estas respecto a los apoyos, y el tipo de unión de las ruedas con los árboles. Se debe destacar que la transmisión adaptada no tiene que ser necesariamente la más semejante. Al concluir la modificación de la transmisión esta se verifica en el sistema CAD CAE para comprobar su resistencia.

Como el diseño es realizado a partir de un caso recuperado se facilita la fabricación de la transmisión ya que se utilizan prácticamente las mismas herramientas, dispositivos y tecnología de la transmisión recuperada. O sea, si el diseño es similar a uno ya existente, el proceso tecnológico de fabricación también lo es.

Cuando el diseño tiene como objetivo reponer una transmisión existente la consulta de selección debe garantizar que las transmisiones recuperadas tengan una coincidencia exacta, al menos, en los números de dientes de las ruedas. En el resto de los índices, según sea el caso, se puede permitir cierta aproximación. En la tabla 3 se muestran las transmisiones de reductores por engranajes cilíndricos de dos pasos recuperadas para una distancia entre centros de 150 mm, un ángulo de inclinación del diente de $8,1^\circ$ aproximadamente y números de dientes del piñón y de la rueda 35 y 64 respectivamente. Aunque la semejanza calculada por las ecuaciones 1 y 2 es la misma en ambos casos estas transmisiones, evidentemente, se diferencian entre sí ya que los índices no incluidos en la recuperación potencia y velocidad son diferentes. Aquí la adaptación se realiza, luego de visualizar los planos con el sistema CAD CAE, sin cambiar los parámetros geométricos z_1 , z_2 , a_w , y m logrando que las dimensiones de las ruedas de la transmisión recuperada coincidan con las del nuevo problema. Al concluir la modificación de la transmisión esta se verifica en el sistema CAD CAE para comprobar su geometría, y de ser necesario, también su resistencia.

Tabla 3. Casos recuperados para $z_1 = 35$, $z_2 = 64$, $\beta = 8,1^\circ$ y $a_w = 150$ mm

Nº	Máquina	P	n_1	u_z	z_1	z_2	m	a_w	β	Semejanza
4	Reductor	15	1550	1,83	35	64	3	150	8,1094	1
5	Reductor	22	1150	1,83	35	64	3	150	8,1094	1

Aquí, el uso del RBC permite encontrar rápidamente la transmisión en caso de que esta se encuentre ya diseñada en la BC lo que evita realizar diseños repetidos. Al igual que en el ejemplo anterior también se facilita la fabricación ya que se tiene la preparación tecnológica de la transmisión recuperada que es similar a la nueva que se diseñó.

Conclusiones

La aplicación del RBC al diseño mecánico constituye una opción interesante al diseño tradicional ya que facilita la reutilización de diseños realizados y validados anteriormente en nuevas aplicaciones.

La utilización de una transmisión recuperada con o sin adaptación en nuevas condiciones de trabajo constituye una alternativa mejor a la realización del diseño desde "cero". Esto posibilita la reducción de los plazos de diseño y el aumento de su calidad ya que la BC está formada por transmisiones con buen desempeño en la explotación.

El diseño de transmisiones por engranajes por medio del RBC facilita la preparación tecnológica para la fabricación de las ruedas ya que si la nueva solución es similar a una que ya se fabricó el proceso tecnológico también lo es. Otro aspecto importante es que se reduce la posibilidad de realizar diseños repetidos.

Referencias

- Althoff, K. D., Auriol, E., Barletta, R. *et al.* *A Review of Industrial Case Based Reasoning Tools*, United Kingdom: AI Intelligence. 1995, p. 1-68. 160 p. ISBN 1- 898804 - 01 - X.
- Olsson, E. "Fault Diagnosis of Industrial Machines Using Sensor Signals And Case-Based Reasoning" *Tutor*: Funk, P. PhD thesis, Mälardalen University, Västerås, Sweden. 2009. [Consultado el: 3 de Mayo 2012]. Disponible en: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?searchId=1&pid=diva2:226846>
- Uddin, M. A., Begum, S., Olsson, E. *et al.* *Case-Based Reasoning for Medical and Industrial Decision Support Systems*. Germany: Springer-Verlag 2010, p. 7- 52. 52 p. [Consultado el 5 de Julio 2012]. Disponible en: <http://www.mrtc.mdh.se/publications/2126.pdf> ISBN 978-3-642-14077-8.
- Lixin, G., Lijuan, W., Houpei, W. *et al.* "Research and Application of Intelligent Fault Diagnosis System Based on RBR for Gearbox of Rolling Mills". En: *4th World Congress on Maintenance*, Haikou, Hainan, China, 2008 [Consultado el: 3 de Mayo 2012]. Disponible en: <http://www.delta3n.hu/world-congress-on-maintenance-2008/session6/21-research-and-application-of-intelligent-fault-diagnosis-system.pdf> ISBN 978 90 813466 1 0.
- Xianchun, T., Fei, L., Dacheng, L. *et al.* "Improved Methods for Process Routing in Enterprise Production Processes in Terms of Sustainable Development II". *Tsinghua Science And Technology*. 2006, vol. 11, nº 6, p. 693-700. [Consultado el 3 de Mayo 2012]. Disponible en: <http://qhxlib.lib.tsinghua.edu.cn/myweb/english/2006/2006e6/693-700.pdf>. ISSN 1007-0214.

6. Olsson, E. y Funk, P. "Agent-based monitoring using case-based reasoning for experience reuse and improved quality". *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2009, vol. 15, nº 2, p. 179-192 [Consultado el: 5 de Julio 2012].
Disponible en: <http://cmis.project.ltu.se/main.php/Agent-Based%20Monitoring%20using%20Case-Based%20Reasoning%20for%20Experience%20Reuse%20and%20Improved%20Quality.pdf?fileitem=8159269> ISSN 1355-2511.
7. Xing, Z., Huan, W., Nan, S., Wei, L. *et al.* "Research On Rapid Design System For Semi-Tráiler Based On KBE". *Information Technology Journal*. 2012 vol. 11, nº 3, p. 368-371 [Consultado el 5 de Julio 2012].
Disponible en: <http://scialert.net/abstract/?doi=itj.2012.368.371> ISSN 1812-5638.
8. Qinl, X. y Regli, W. C. "Applying Case-Based Reasoning to Mechanical Bearing Design". En: *2000 ASME Design Engineering Technical Conferences*, Baltimore, Maryland, USA. 2000 [Consultado el: 5 de Julio 2012]. Disponible en: http://www.mel.nist.gov/msdlibrary/doc/Applying_reason.pdf ISBN 0780363302.
9. Aimin, J., Quansheng, H., Huanmin, X. *et al.* "Design System of the two-step gear reducer on Case-Based Reasoning". *Chinese Journal of Mechanical Engineering* 2009, vol. 22, nº 5, p.671-679. [Consultado el 5 de Julio 2012]. Disponible en: http://caod.oriprobe.com/articles/17370940/design_system_of_the_two_step_gear_reducer_on_case.htm ISSN 1000-9345.
10. Changwei, H., DongSheng, Z. y Xindu, C. "Knowledge Base System of spiral bevel gear based on design tree" *Advanced Materials Research*. 2012 vol. 472-475, p. 1739-1743 [Consultado el: 5 de Julio 2012].
Disponible en: <http://www.scientific.net/AMR.472-475.1739>. ISSN 1662-8985.
11. Moya, J. L., Becerra, A. M. y Cesar, A. C. "Utilización de Sistemas Basados en Reglas y en Casos para diseñar transmisiones por tornillo sin fin" *Ingeniería Mecánica*. 2012, vol. 15, nº1, p. 1-9 [Consultado el: 5 de Julio 2012]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=1815-594420120001&nrm=iso&lng=pt. ISSN 1815-5944.
12. Krishnamoorthy, C. S. y Rajeev, S. *Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers*. London: CRC Press 1996, p. 135-165, 254 p. ISBN 0849391253.
13. Budynas, N. *Shigley's Mechanical Engineering Design*. Eighth Edition. EEUU: McGraw-Hill. 2008 p.652-758. ISBN 0-390-76487-6.
14. International Organization for Standardization. *Calculation of load capacity of spur and helical gears-Part 6: Calculation of service life under variable load*. ISO 6336-6, Geneva. Switzerland: Edited by ISO. 2008.