

DISEÑO DE UNA GAMA DE REDUCTORES DE ENGRANES HELICOIDALES Y EJES PARALELOS

RESUMEN

Industrias Fama Ltda. es una empresa dedicada al diseño y fabricación de reductores de velocidad para distintas aplicaciones; sin embargo, la metodología de trabajo genera dificultades en los procesos de iteración debido a que no existen procedimientos estándar de análisis para la creación de un reductor específico. Se realizó entonces la estandarización de un nuevo reductor basado en la norma ISO 6336 y utilizando diseño asistido por computador. Como resultado se obtuvo una interfaz entre programas que permite diseñar reductores de engranes helicoidales y ejes paralelos en una gama específica de variables determinadas según las necesidades de la empresa.

PALABRAS CLAVES: reductores de velocidad, ISO 6336, diseño asistido por computador, interfaz entre programas, reductores de engranes helicoidales y ejes paralelos.

ABSTRACT

Industrias Fama Ltda. it's a company dedicated to design and manufacture of speed reducers for different applications; nevertheless, the design methodology has many difficulties at the iteration process because there aren't standard analysis procedures to design a new specific reducer. Then, a new standard reducer was made using CAD and the ISO 6336 norm. As a product, was obtained an interface between programs that allow designing a specific range of parallel shaft helical gear reducers according to the company necessities.

KEYWORDS: Speed reducers, ISO 6336, CAD (computer-aided design), software interface, and parallel shaft – helical gear reducer.

1. INTRODUCCIÓN

Los reductores de velocidad son utilizados en múltiples diseños de maquinaria con el fin de satisfacer tres funciones primordiales: Recibir potencia de un motor mediante una flecha, transmitir la potencia mediante elementos de máquina apropiados, generalmente engranes, que reduzcan la velocidad hasta un valor apropiado y entregar la potencia, con velocidad menor, a otra flecha que la reciba y ejecute una acción determinada [1]. En la ciudad de Manizales, Industrias Fama Ltda., diseña y construye reductores encargados para fines específicos, según la finalidad unos son diseñados por pedido del cliente y también poseen una gran gama de diseños ilustrados en catálogos para selección según la aplicación. Sin embargo, la metodología de diseño no es apropiada, debido a que para cada reductor se realiza un proceso de síntesis y análisis detallado de manera manual, es decir, desarrollando el proceso de diseño evaluando una por una ciertas fórmulas ya establecidas y verificando los resultados obtenidos según los factores de diseño hallados. Si los factores de diseño no resultan adecuados el proceso se reinicia generando grandes retrasos en el tiempo de cumplimiento de entrega del reductor pedido y causando obviamente pérdida de clientes y por lo tanto de dinero.

CÉSAR AUGUSTO ÁLVAREZ

Ingeniero Mecánico
Profesor Asistente
Universidad Autónoma de Manizales
Departamento de Mecánica y Producción
dekinov@gmail.com
vekinov@autonoma.edu.co

JAVIER ALARCÓN GIRALDO

Estudiante de Ingeniería Mecánica
Grupo de Investigación en Diseño Mecánico y Desarrollo Industrial
Universidad Autónoma de Manizales
javier_alarcon77@hotmail.com

Para la realización de un nuevo producto: Un reductor de engranes helicoidales y ejes paralelos, se propuso la creación de un nuevo método de diseño, siguiendo como base de trabajo los parámetros establecidos por la norma ISO 6336 (con la cual trabaja Industrias Fama Ltda.) y utilizando un formato de diseño asistido por computador realizando una interfaz en Visual Basic 6.0 y realizando una comunicación directa entre Visual Basic 6.0, para los datos de entrada de diseño, Excel, donde los datos son recopilados y Solid Edge 16, donde se generan los engranes diseñados en un ambiente gráfico 3D. Cabe anotar que los tiempos de iteración se mejoran puesto que en cualquier momento el usuario del software puede variar los datos de entrada según nuevos requerimientos optimizando así el tiempo de iteración de diseño y creando una familia de reductores de este tipo [2]

Para el desarrollo del diseño del reductor se consideraron también ciertos aspectos determinados por la empresa tales como:

- Versatilidad del montaje para diferentes posiciones [3].
- Necesidad de los engranes helicoidales.
- Necesidad de los ejes paralelos, con eje de entrada macizo según requerimiento de conexión al motor.

- Confiabilidad de diseño, para lograr esto se exigió la realización de una prueba donde se compararon los resultados arrojados por el software desarrollado con los del catálogo de reductores de FAMA [4].

2. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA EL REDUCTOR DE VELOCIDAD.

La función primaria de los reductores de velocidad, es como ya se mencionó anteriormente, disminuir las altas velocidades de entrada que poseen los motores hasta una velocidad límite que es determinada para realizar una labor específica.

Existen muchos diseños propuestos según la aplicación, sin embargo para el diseño específico de este artículo se buscaron engranes helicoidales con la finalidad de:

- Disminuir ruido.
- Incrementar la capacidad de carga.
- Facilitar el proceso de manufactura según la maquinaria de Industrias FAMA [4].

2.1. Parámetros geométricos

La geometría y los parámetros de diseño del engrane es ilustrado en la figura 1.

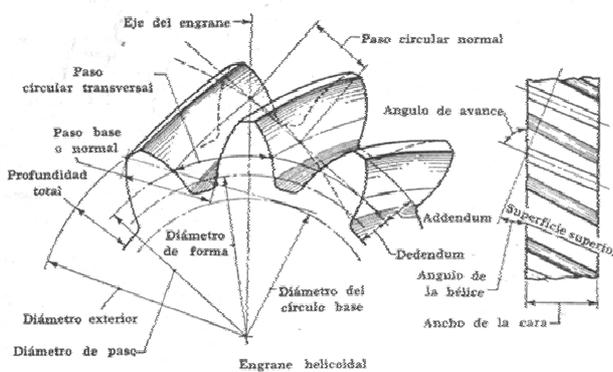


Figura 1. Geometría y parámetros de diseño del engrane helicoidal.

Como relaciones básicas para el diseño del reductor se tienen:

El módulo m , el ángulo de presión α y el ángulo de hélice β .

El paso circular p definido como

$$p = \pi * m \quad (1)$$

El ángulo de presión axial α_t definido mediante la relación

$$\operatorname{tg}(\alpha_t) = \frac{\operatorname{tg}(\alpha)}{\cos(\beta)} \quad (2)$$

El módulo tangencial m_t definido como

$$m_t = \frac{m}{\cos(\beta)} \quad (3)$$

Los diámetros de círculo de raíz del piñón y de la rueda $db_{1,2}$ definidos como

$$db_{1,2} = d_{1,2} * \cos(\alpha_t) \quad (4)$$

Donde $d_{1,2}$ son los diámetros de paso del piñón y de la rueda respectivamente.

El ángulo de presión de trabajo axial α_{wt} se define como

$$\alpha_{wt} = \cos^{-1} \left(\frac{db_1 + db_2}{2 * a_w} \right) \quad (5)$$

La distancia real entre centros a_w , definida como:

$$a_w = a * \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{wt}} \quad (6)$$

Donde a es la distancia teórica entre centros. Estas ecuaciones conforman un sistema no lineal simultáneo.

El número de dientes del piñón y de la rueda son denominados como $Z_{1,2}$ y relacionados según

$$Z_1 = \frac{2a_w \cos(\beta)}{m(i_d + 1)}, \quad Z_2 = i_d Z_1 \quad (7)$$

Donde el subíndice 1 indica el piñón y el 2 la rueda. El valor i_d es la razón de diseño y debe aproximarse al mayor número racional aproximado de dos cifras significativas dentro del programa.

Bajo estos parámetros se establece la interfaz primaria que genera como resultado el engrane del reductor solicitado por el diseñador. Es necesario aclarar que ciertos aspectos geométricos del diente también son solicitados como datos de entrada, tales como: el addendum, el dedendum, el margen de tolerancia, y los parámetros de ancho de cara.

Para el diseño del reductor completo, también se deben especificar las condiciones físicas de selección según criterios de desempeño, estas son: La potencia requerida, la velocidad de funcionamiento y la eficiencia.

La interfaz de entrada del programa muestra uno de los reductores finales diseñados usando CAD (Diseño

Asistido por Computador) y diferentes pestañas horizontales para el inicio de los cálculos formales. En las figuras 2 y 3 se ilustran la interfaz de presentación y la de entrada de los datos.

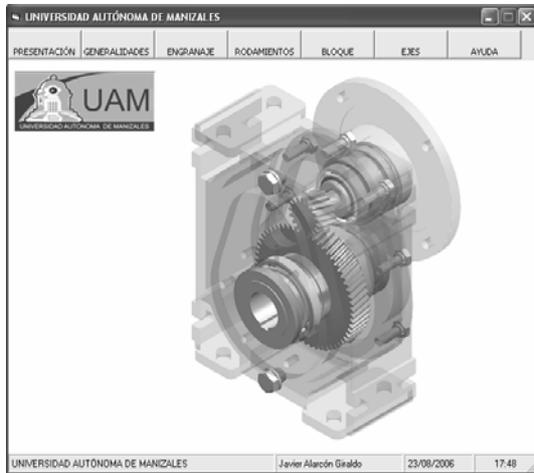


Figura 2. Interfaz presentación de la gama de reductores.

Las aplicaciones de los programas CAD incluyen paquetes en 2D, los cuales tienen una gama extensa de servicios de dibujo; paquetes de modelización en 3D, en donde se pueden realizar múltiples operaciones de modelado y presenta alternativas para modificar los modelos por medio programas externos, como Excel,

contacto. Estas relaciones se siguieron basadas en los criterios de diseño de carga a fatiga de Lewis y utilizando los distintos coeficientes de geometría y carga dependiendo de las condiciones de entrada de la interfaz mostrada en la figura 2.

Las fuerzas axiales, radiales y tangenciales sobre los dientes están dispuestas entonces como datos de salida, así como la potencia de salida según la eficiencia, el torque de salida o bien la velocidad angular dependiendo de la elección en los datos de entrada y la velocidad tangencial del contacto. Estos parámetros se ilustran en la figura 5.

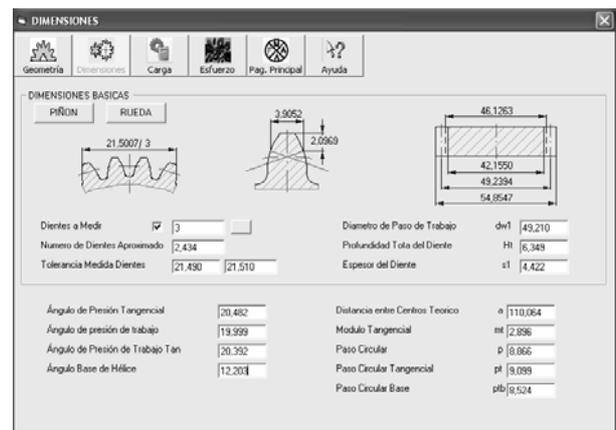


Figura 4. Interfaz dimensiones de los engranes helicoidales.

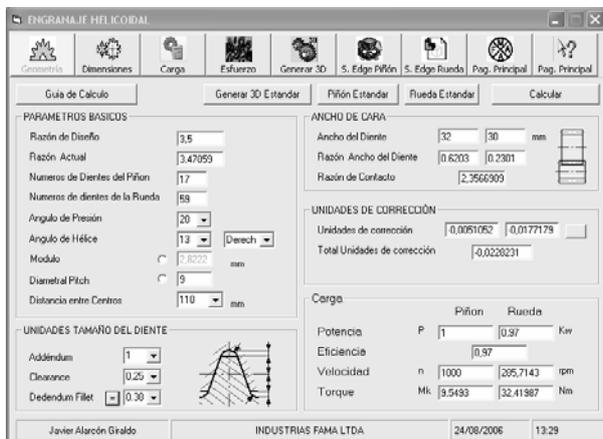


Figura 3. Interfaz para la geometría de los engranes helicoidales.

Adicionalmente se tiene una interfaz geométrica donde se muestran los perfiles del diseño de piñón y corona con datos de salida de las dimensiones básicas de estos y sus tolerancias, tal como se puede observar en la figura 4.

2.2. Parámetros de diseño: fuerzas, esfuerzos y factores de seguridad.

Internamente están ocultas las relaciones de fuerzas sobre los dientes de la rueda y el piñón además de los estados de esfuerzo en la raíz de los dientes y en las áreas de

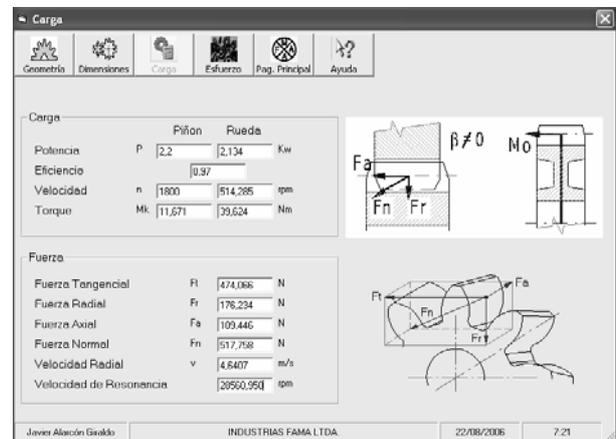


Figura 5. Interfaz carga de los engranes helicoidales.

Después de calcular la interfaz de geometría y la de fuerza, automáticamente se ejecutan los operadores de la interfaz de esfuerzo, cuando se abre interfaz de esfuerzo y se cambian los valores de entrada se debe oprimir el comando botón "Calcular" para que modifique los factores de seguridad. Ver figura 6. Para seleccionar el factor de aplicación se presenta una interfaz selección de factor de aplicación donde se especifican las características de trabajo del engranaje. Ver figura 7.

Sólo un número limitado de materiales y aleaciones son adecuados para engranajes que transmitan una potencia importante, por tal motivo se presenta en la figura 8 una interfaz de materiales para el piñón y la rueda; esta contiene datos sobre el tratamiento térmico, la resistencia a la fatiga por flexión, la resistencia a la fatiga superficial, la razón de Poisson, el módulo de elasticidad, y la dureza superficial, entre otros. La interfaz de materiales tiene una base de datos en Microsoft Excel, donde guarda los cambios realizados. De igual manera se presentan comandos para agregar o eliminar otros materiales de fabricación, los cuales se guardaran automáticamente en la base de datos de Excel.

En la figura 6. Una vez terminada la entrada de parámetros en la interfaz de esfuerzo, basta oprimir el botón comando “Calcular”, para obtener los factores de seguridad de contacto y flexión. Si los factores de seguridad son superiores a 1 la comprobación de esfuerzo será verdadera, de lo contrario aparecerá en el comando comprobación de esfuerzo el término “falso”. Si la comprobación de esfuerzo aparece el término “falso”, deberá modificar los parámetros de entrada, de acuerdo con el criterio de diseño.

2.3 Generación engranaje en solid edge

No es posible realizar una comunicación directa entre Solid Edge y la interfaz diseñada en Visual Basic. Para poder vincular estos dos programas se debe diseñar una base de datos. Para este proyecto se utilizó el programa Microsoft Excel el cual funciona como una conexión entre Visual Basic y Solid Edge.

Visual Basic ofrece herramientas para almacenar y administrar datos con el motor de base de datos Microsoft, Puede conseguir esto si genera sus aplicaciones con componentes ActiveX. “Un componente ActiveX es un fragmento reutilizable de código de programación y datos compuesto por uno o más objetos creados mediante la tecnología ActiveX. Las aplicaciones pueden usar componentes existentes, como los incluidos en las aplicaciones de Microsoft Office”¹.

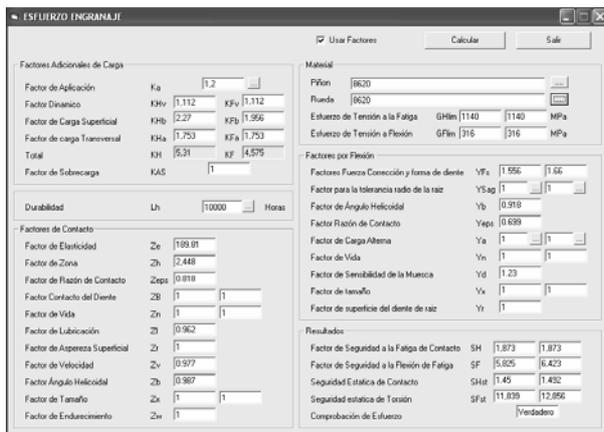


Figura 6. Interfaz de esfuerzo de los engranes helicoidales.

Para crear la comunicación entre Solid Edge y Visual Basic, se debe abrir un documento nuevo en Microsoft Excel, se introducen los datos que desea manipular en el modelo CAD (ver figura 10). Posteriormente se debe realizar la integración del documento Excel a la interfaz en Visual Basic por medio de las herramientas Microsoft Data Control 6.0 (OLEDB) Y Microsoft Bound Gris control 5.0 (SP3), que se encuentra en la tabla de componentes del cuadro de herramientas. Después se vinculan los comandos de la interfaz de Visual Basic a la hoja de cálculo diseñada.



Figura 7. Interfaz de Factor aplicación.

Una vez terminado el proceso de calculo de los engranes helicoidales, se presenta en la figura 9 la interfaz “PARÁMETROS 3D”, con el objetivo de verificar datos de la geometría en los engranes helicoidales. Basta oprimir el comando “Generar 3D”, para que la interfaz “PARÁMETROS 3D” envíe y guarde los resultados a la base de datos Microsoft Excel. Ver figura 10.

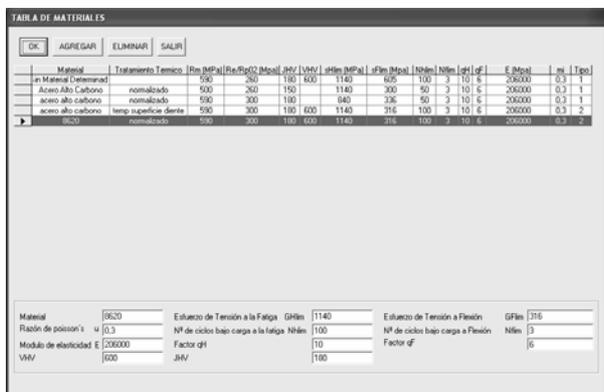


Figura 8. Interfaz de materiales.

En la figura 11 se presenta la interfaz “Generación del Piñón en Solid Edge”, en la cual se encuentran dos comandos. El primen comando abre la base de datos en Microsoft Excel, Ver figura 10, Para actualizar los cambios realizados en la interfaz “PARÁMETROS 3D”. El segundo comando abre el programa Solid Edge en el archivo de piñón o rueda (ver figura 12), y modifica los

¹ MSDN. Library Visual Studio 6.0. Componentes Active X.

parámetros establecidos en la base de datos Excel. Ya el piñón o bien la rueda están diseñados.

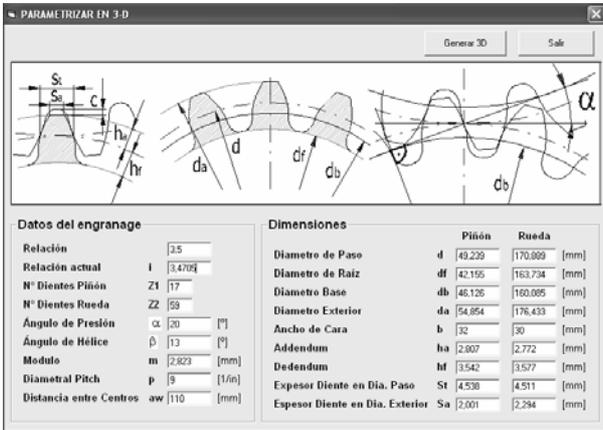


Figura 9. Interfaz parámetros 3D.

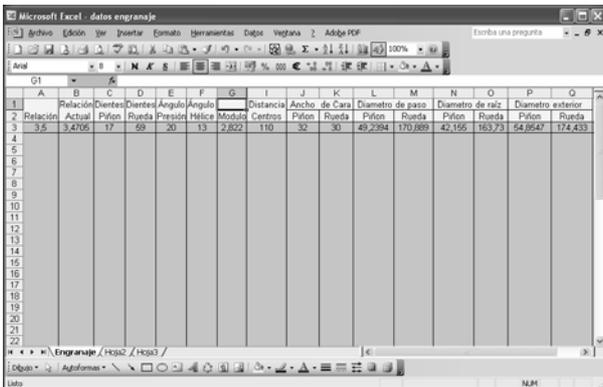


Figura 10. Programa base de datos en Excel.



Figura 11. Interfaz generación piñón en Solid Edge.

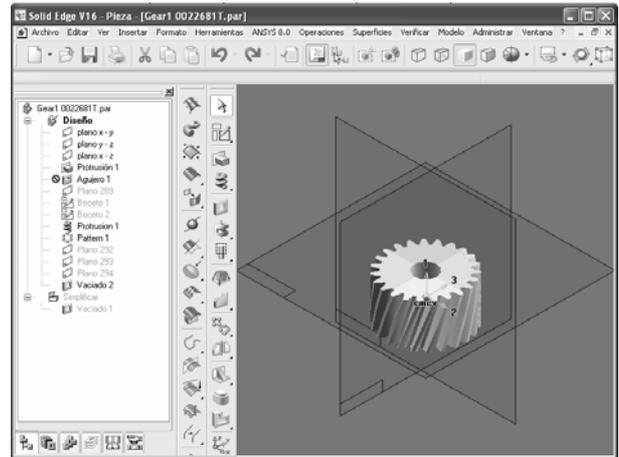


Figura 12. Programa Solid Edge. Piñón diseñado.

En la figura 13. Se presenta una interfaz llamada “VISUALIZACIÓN COMPONENTES GAMA DEL REDUCTOR”, donde se puede abrir cualquier archivo de pieza, plano o conjunto de la gama de reductores diseñada. La ventaja radica en la rápida visualización de los componentes y en una múltiples herramientas que ofrece, entre la cuales se encuentra; imprimir, rotar, visualizar en los diferentes planos, mover pieza, cambio de color y enfoque.

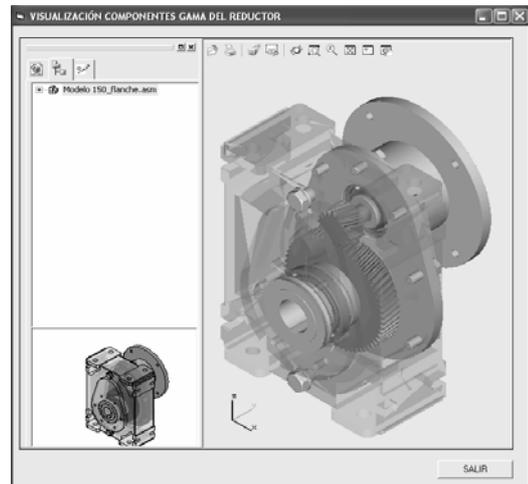


Figura 13. Interfaz visualización de componentes de la gama de reductores.

2.3 Interfaz de rodamientos

Para elegir el tipo de rodamientos, es necesario tener una clara definición del tipo de cargas a las cuales están sujetos. Por la naturaleza de la máquina, la transmisión de fuerzas y la ubicación de las piezas, se sabe de antemano que los rodamientos seleccionados deben ser capaces de soportar sin problema cargas radiales y momentos.

Para la selección de los rodamientos se requiere determinar la carga a la cual está sometido el elemento de máquina. Estas componentes de fuerza en la dirección radial del rodamiento fueron determinadas en el respectivo diseño realizado a cada una de las flechas anteriormente. De la figura 13 se presenta en la parte inferior una base de datos, Donde d es el diámetro interno, D es el diámetro externo, B es el ancho, C es la capacidad de carga dinámica y C_0 es la capacidad de carga estática.

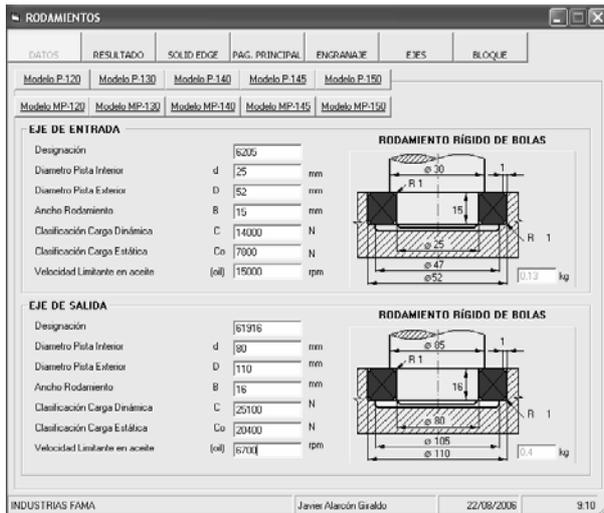


Figura 14. Interfaz de rodamientos para gama de reductores.

2.4 Resultados obtenidos

El diseño se considera un proceso iterativo y por lo tanto para un mismo problema puede haber variadas soluciones adecuadas y raramente existe una solución única a un problema dado, por esto es recomendable que una vez obtenidos los resultados arrojados por el programa estos sean evaluados para cumplir así las expectativas de desempeño del equipo.

Se realizó una verificación del software diseñado contra un diseño actual de Industrias Fama el cual se presenta en la tabla 1. Los datos arrojados por el programa para el diseño de un reductor PH 150 del catálogo de Fama ilustra que las diferencias en el error porcentual de los principales datos de diseño son menores a 1%, verificando así la validez del diseño del nuevo reductor con asistencia de software CAD.

DATOS DE CALCULO	DISEÑO		SOFTWARE DISEÑADO		% ERROR	
	PIÑÓN	RUEDA	PIÑÓN	RUEDA	PIÑÓN	RUEDA
Número de dientes	17	59	17	59	0	0
Diámetro Pitch	9		9		0	0
Ángulo de presión normal	20		20		0	0
Ángulo de Hécice	13		13		0	0
Distancia entre centros	110		110		0	0
RESULTADOS CÁLCULOS						
Unidad total de corrección	-2,25379E-2	0	-2,25379E-2	2,7E-4	0	0,09
Desplazamiento de Piñones	0	-2,25379E-2	2,7E-4	-2,2537E-2	0,09	0
Diámetro de rocadura	49,24	170,89	49,211	170,789	0,05	0,05
Diámetro Primitivo	49,24	170,89	49,24	170,89	0	0
Diámetro Exterior	54,88	176,41	54,759	176,532	0,22	0,05
Diámetro fondo del Diente	42,69	164,22	42,578	164,153	0,26	0,04
Dientes para medir	2	6	2	6	0	0
Dimensión de dientes	13,22101	48,29164	13,1692	48,1553	0,39	0,28
Relación Actual	3,470588		3,470588		0	

Tabla 1. Comparación entre diseño actual Fama contra Software diseñado.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizó un diseño de reductor de engranajes helicoidales de una manera flexible y óptima, que permitirá crear rápidamente diseños para familias y grupos.

El uso del diseño asistido por computador se considera como unos de los avances más importantes del proyecto puesto que simplifica sustancialmente dicho proceso que de otra forma se tornaría largo y tedioso.

El programa de CAD desarrollado para engranes helicoidales cumple con todas las especificaciones impuestas al principio del proyecto, permitiendo un entorno amigable, sencillo y de gran seguridad para el usuario. Industrias FAMA está actualmente haciendo uso del software para el diseño de sus reductores.

Se espera continuar con el proceso de comunicación CAD CAM para llevar directamente el diseño del reductor a un lenguaje G para la fabricación de los elementos en sistemas CNC.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MOTT L. Robert. Diseño de elementos de máquinas. Cuarta Edición. Prentice Hall, México. 2006.
- [2] Norma ISO 6336 (partes 1, 2, 3 & 5): Cálculo de la Capacidad de Carga de Engranajes Cilíndricos de Dientes Rectos y Helicoidales (en ingles). 1996.
- [3] DUDLEY W. Darle. Handbook of practical gear Design. U.S.A: Technomic, 1994.
- [4] Catálogo básico Industrias FAMA.