

# Propuesta metodológica para el diseño de un banco de pruebas para engranajes cilíndricos rectos

## Methodological proposal for design of a test bench for straight cylindrical gears

Martínez Henao Pedro Nel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. en Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. Magíster en Automatización industrial, Profesor tiempo completo en la Universidad San Buenaventura de Bogotá, Programa de Ingeniería Mecatrónica y Profesional de Proyectos de investigación  
pemartinez@usbog.edu.co

Recibido 01/11/12, Aceptado 27/12/2012

### RESUMEN

El siguiente artículo presenta el diseño para un banco de pruebas para engranajes de perfil convencional y perfil especial. Es por ello que el procedimiento y metodología para el diseño del equipo se soporta en la revisión bibliográfica de documentos y software de ingeniería requeridos para su desarrollo. Además deben tenerse en cuenta los diferentes aspectos técnico que van desde los requerimientos del producto, las especificaciones de ingeniería y métodos de producción.

Para la fase de selección y análisis se ha utilizado el despliegue de la función de calidad QFD, la cual se fundamenta en correlacionar y priorizar numéricamente las necesidades del cliente y con ella calificar las alternativas de diseño para llegar a la selección más adecuada del producto.

Dado que en la generación del diseño conceptual puede lograrse la descomposición de todas las funciones básicas requeridas en los sistemas y sub sistemas del diseño del equipo. Es así como se llega a una combinación de conceptos que permiten conseguir un diseño de detalle del equipo, el cual a su vez puede ser optimizado según la mejor alternativa de diseño según las restricciones entre las que se consideraron el número de componentes y su costo de implementación

**Palabras clave:** Engranajes, banco de pruebas, diseño, metodología, función de calidad

### ABSTRACT

This paper present a design for test bed to a conventional profile gear and the special profile gear. That is why the procedure and methodology for the design team is supported in the literature review and engineering software support required for its development. Also to be taken into account different technical aspects ranging from product requirements, specifications and methods of production engineering.

For the selection phase and analysis has been used to deploy QFD quality function, which is based on numerically correlate and prioritize customer needs and qualify the design alternatives to reach the proper product selection.

As in the conceptual design generation can be achieved all the basic functions decomposition required in the sub systems and systems of equipment design. This is how you get to a combination of concepts that allow to get a detailed design of the equipment, which in turn can be optimized according to the best alternative design between those constraints considered and the number of components and their cost of implementation

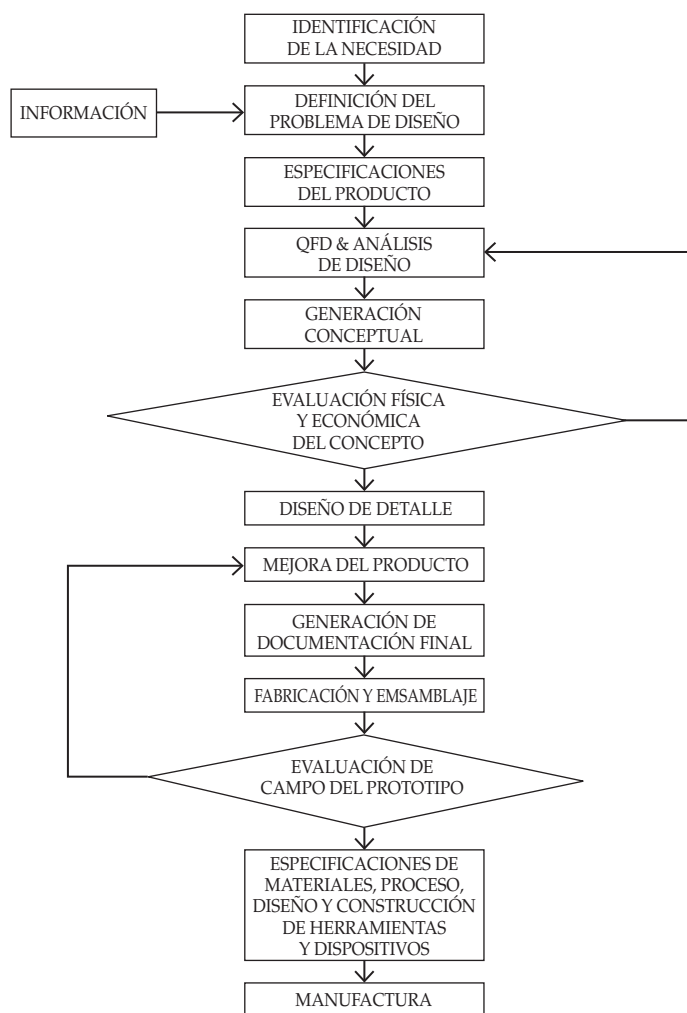
**Keywords:** gears, test bed, design, methodology, quality function

## 1. INTRODUCCIÓN

Las normas para el diseño apropiado de elementos de maquina deben ser exigentes con el propósito de tener productos más eficientes y que permitan el rendimiento esperado y alcanzar además la conservación del medio ambiente. Por tanto, uno de los parámetros de diseño implícitos son el ahorro de energía y la minimización de daños colaterales por los contaminantes que se generen en el proceso de fabricación o en el funcionamiento del producto. En consecuencia el proyecto pretende desarrollar un banco de pruebas para hacer pruebas a perfiles de engranajes. Tal es, por lo demás que las variables de entrada y salida son prioritarias para desarrollar la gestión de información el cual debe responder a las expectativas y requerimientos del producto. En la figura 1 se esquematiza el diagrama de flujo que permite mostrar la metodología de diseño.

**Figura 1.** Metodología de diseño para el desarrollo de un producto (adaptado del libro de Arzola. 2011) [1]

**Figure 1.** Methodology design for product development (adapted from the book of Arzola. 2011) [1]



Este artículo está organizado de la siguiente manera. En la figura 1 se esquematiza las fases a seguir en el diseño y desarrollo de un producto. Por tanto en el numeral 2 se hace la identificación de las necesidades y requerimientos del producto en el numeral 3 se hace una síntesis de la información. En el numeral 4 se concretan las especificaciones técnicas del producto. En el numeral 5 se desarrolla la matriz del despliegue de la función de calidad (QFD), la cual permite conocer cuales características de diseño hay que prestárseles mayor atención. En el numeral 6 se presenta el diseño conceptual según todos y cada uno de los pasos que debe seguir la máquina para cumplir su propósito. En la fase 7 se hace una consideración de los aspectos físicos y económicos ya que son parte de las restricciones que tiene el equipo. En la fase 8 se desarrolla la ingeniería de detalle y que enfatiza en todas y cada una de los componentes. En la fase 9 se hace consideración de mejoras en las partes o en la operación de los componentes que permitan una mayor ergonomía y funcionamiento adecuado de los componentes. En la fase 10 se considera los procesos de fabricación y ensamble que permitan minimizar costos en materiales, desperdicios y procesos. La fase 11 corresponde a la evaluación del prototipo en el cual el diseño por ser un proceso cíclico, está sujeto a ser reconsiderado materiales, procesos u operación de los componentes. En la fase 12 la cual corresponde a manufactura realmente en los procesos de diseño está más enfocada al diseño de dispositivos, la cual no se considera en este artículo, pero que indudablemente si hay que tener en cuenta cuando se desea adelantar producción en serie de un producto. En la fase 13 se muestran los resultados y finalmente las conclusiones son descritas en la fase 14.

## 2. IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD

En la metodología del diseño, la primera fase se encarga de identificar la necesidad, la cual se fundamenta en insuficiencias del mercado o en escasez latente en los procesos de producción los cuales hay que cuantificarlos y prever que realmente satisfaga las necesidades del consumidor.

Ahora bien, concretando la necesidad se requiere desarrollar un banco de pruebas para engranajes de perfil convencional de involuta y engranajes con perfil especial de diente. Uno de los requerimientos para las pruebas de ensayo es poder verificar la capacidad de carga portante que ofrece cada uno de los engranajes de prueba y medir su respectivo error de transmisión.

### 2.1. Requerimientos del usuario

Corresponden a requerimientos desde la necesidad del cliente. Algunos de los aspectos a tener en cuenta por el diseñador son: la ergonomía, facilidad de operación, mínimo mantenimiento, seguridad del operario y de la maqui-

na en general, multifuncionalidad para varios tipos de engranajes, facilidad en el sistema de control y toma de datos

en todos los frentes de trabajos requeridos en el diseño y desarrollo del producto. La Figura 2. Muestra un ejemplo de bitácora.

### 3. SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN

La síntesis de la información no es otra cosa que la bitácora de gestión del proyecto el cual permite saber el estado

**Figura 2.** Modelo Bitácora adaptado de la Dirección de investigaciones de la universidad San Buenaventura, sede Bogotá.  
**Figure 2.** Blog model adapted from the Research Directorate San Buenaventura University in Bogotá



### BITÁCORA DEL PROYECTO

| PROYECTO:                              |                   | CÓDIGO PROYECTO:        |                 |                  |
|--|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------|
|  | FECHA DE RECIBIDO | OBSERVACIONES           |                 |                  |
| Propuesta del proyecto                 |                   |                         |                 |                  |
| Carta de aprobación                    |                   |                         |                 |                  |
| Acta de inicio                         |                   |                         |                 |                  |
| Primer informe de avance con soportes  |                   |                         |                 |                  |
| Segundo informe de avance con soportes |                   |                         |                 |                  |
| Tercer informe de avance con soportes  |                   |                         |                 |                  |
| Informe técnico final                  |                   |                         |                 |                  |
| Productos                              |                   |                         |                 |                  |
| Acta finalización                      |                   |                         |                 |                  |
| GESTIÓN DE REQUISICIONES               | FECHA DE RECIBIDO | N° SUMINISTRO           | FECHA RADICADO  | FECHA DE ENTREGA |
| 1 Suministro                           |                   |                         |                 |                  |
| 2 Suministro                           |                   |                         |                 |                  |
| 3 Suministro                           |                   |                         |                 |                  |
| ÓRDENES DE SERVICIO (OT)               | FECHA EMISIÓN     | RESPONSABLE (Proveedor) | FECHA RADICADO  | FECHA DE ENTREGA |
| 1. OT #                                |                   |                         |                 |                  |
| 2. OT #                                |                   |                         |                 |                  |
| 3. OT #                                |                   |                         |                 |                  |
| GESTIÓN DE CORRESPONDENCIA             |                   |                         |                 |                  |
| ADJUNTO                                | FECHA RECIBIDO    | TRÁMITE                 | FECHA RESPUESTA | OBSERVACIONES    |
| # 1                                    |                   |                         |                 |                  |
| # 2                                    |                   |                         |                 |                  |
| # 3                                    |                   |                         |                 |                  |
| OBSERVACIONES GENERALES                |                   |                         |                 |                  |
| ITEM                                   | DESCRIPCIÓN       |                         |                 | RES. (SOPORTE)   |
| 1                                      |                   |                         |                 |                  |
| 2                                      |                   |                         |                 |                  |
| 3                                      |                   |                         |                 |                  |
| 4                                      |                   |                         |                 |                  |

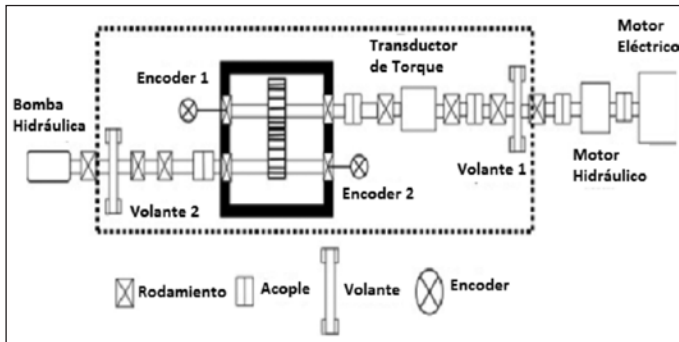
### 3.1 Información de alternativas

La correcta información permitirá soportar el desarrollo del diseño para validar los resultados y eficacia de los mismos. Para tal propósito uno de los métodos más utilizados es encontrarla mediante una búsqueda de referencias. Para tal propósito se tendrá en cuenta las siguientes referencias:

Diseño 1. Muestra una máquina de ensayos para engranajes, figura 3. Con un sistema de frenado hidráulico, los cuales son eficientes. La limitante de este diseño es el alto costo de inversión por el sistema hidráulico que requiere muchos equipos para el sistema de control del torque del sistema a transmitir.

**Figura 3.** Máquina de ensayo de engranaje con lazo de potencia cerrado Hidráulico. [2]

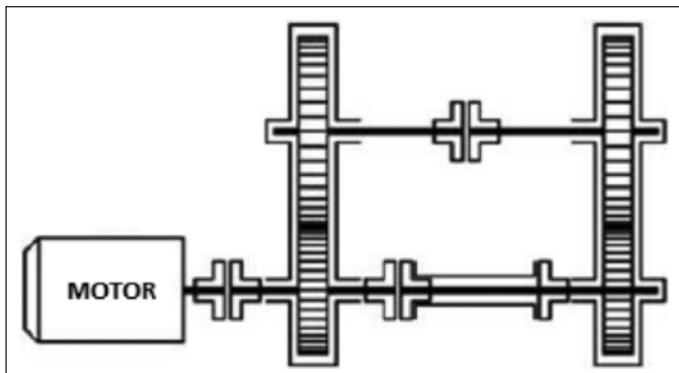
**Figure 3.** Testing Gear Machine with Hydraulic power closed loop [2]



Diseño 2. Muestra un sistema con lazo de potencia cerrado, figura 4. Permite minimizar la cantidad de carga que debe suministrar el motor debido a la contra carga que se utiliza para el sistema de frenado del engranaje de prueba. Una desventaja de este sistema es que tanto los engranajes de prueba como los engranajes esclavos sufren desgaste similares.

**Figura 4.** Máquina de ensayo de engranaje con lazo de potencia cerrado Mecánico. [3]

**Figure 4.** Testing Gear machine with closed loop mechanical power. [3]

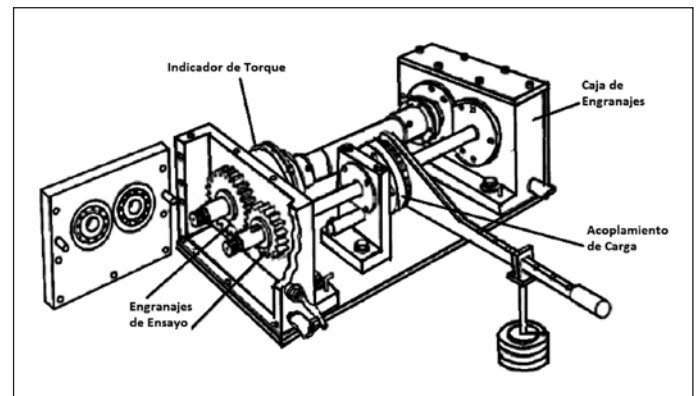


Diseño 3. Corresponde a la máquina de ensayo de engranajes FZG [4], Figura 5. El cual consiste en 2 cajas de engranajes, una caja para los engranajes esclavos y otra caja para los engranajes de prueba. Los 2 pares de engranajes tienen la misma relación de transmisión. El eje más lento tiene un transductor para la medición del torque y el eje más rápido tiene un sistema de contrapeso para la aplicación de torque hasta de 530 N.m.

Una desventaja de este sistema es que tanto los engranajes de prueba como los engranajes esclavos sufren desgaste similares. Claro está que para minimizar este problema, mediante un tratamiento térmico y tipo de acero se puede lograr mayor duración de los engranajes esclavos.

**Figura 5.** Máquina de ensayo de engranajes FZG [4]

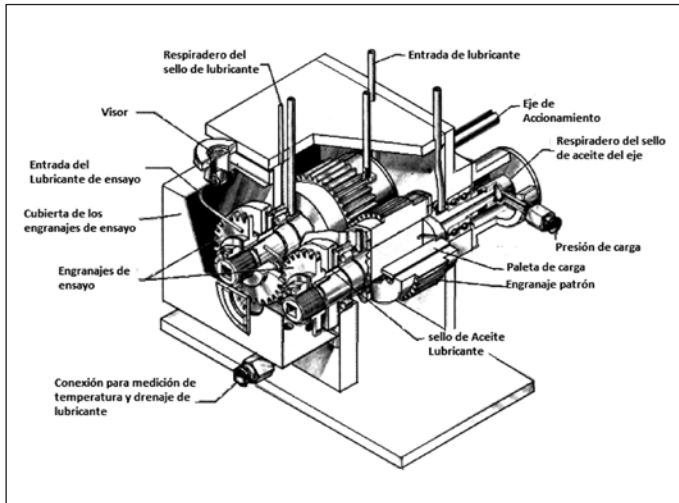
**Figure 5.** Testing gear Machine FZG [4]



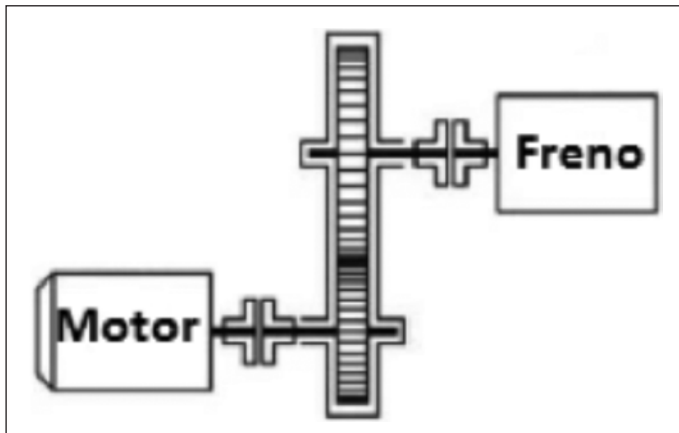
Diseño 4. Corresponde a la máquina de ensayos de engranaje NASA [5], el cual se basa en el principio de potencia circulante, equipado con motor eléctrico y transmisión por correa. Puede alcanzar una frecuencia de rotación de 10000 rpm y una capacidad de carga de 6672 N. Posee un sistema hidráulico de presión de trabajo sobre la paleta de carga de 1000 PSI. El sistema hidráulico permite más flexibilidad, mayor control y automatización del proceso. Figura 6. La limitante de este sistema es el alto costo de inversión requerido para su fabricación.

Diseño 5. El banco de ensayos con lazo de potencia abierto, figura 7 permite experimentar directamente sobre los engranajes de prueba, los costos de inversión son más bajos debido a que se requieren menor número de componentes. Un inconveniente de este sistema es que el motor debe suministrar toda la potencia necesaria para garantizar la carga de ensayo a la cual se desean probar los engranajes; además el costo del freno electromagnético y su sistema de control son muy elevados.

**Figura 6.** Máquina de ensayos de engranaje NASA [5]  
**Figure 6.** Testing Gear machine NASA [5]

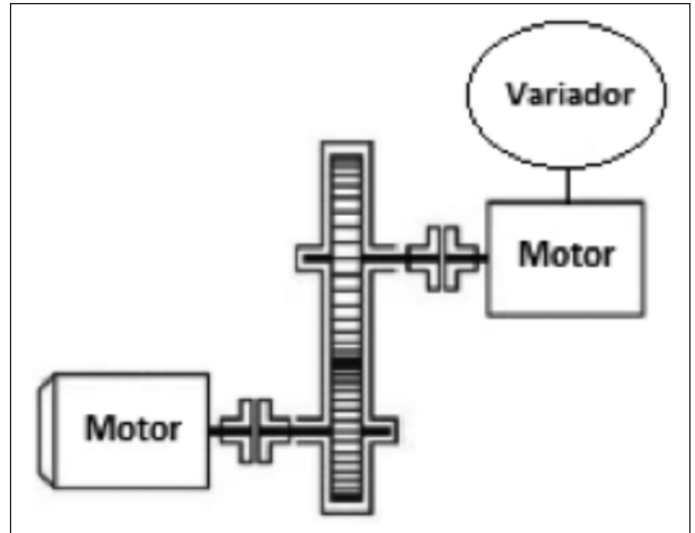


**Figura 7.** Máquina para ensayo de engranaje con lazo de potencia abierto. [6]  
**Figure 7.** Testing gear machine with open loop power. [6]



Diseño 6. Una variación en el diseño 5 de la máquina de ensayos, la cual se muestra en la figura 8. Utiliza un sistema de variador el cual puede ser electrónico o mecánico, con el propósito de generar el par torsor en el engranaje de prueba. Otra ventaja para este sistema es el costo disponible para su implementación.

**Figura 8.** Máquina para ensayo de engranajes con lazo de potencia abierto y variación en el sistema de frenado mediante variador de velocidad.  
**Figure 8.** Testing gear machine with open loop power variation in the braking system by VSD.



#### 4. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

A continuación se establecerá los aspectos que la nueva máquina de ensayos debe tener para asistir en la medida del error de transmisión y la capacidad de carga portante en engranajes con perfiles de diente tanto convencionales de involuta como en perfiles de diente especial.

- Rigidez del banco de prueba
- Capacidad de carga: hasta 1599 N
- Capacidad de torque: hasta 63 N.m
- Velocidad de operación: Entre 300 y 1800 RPM.

#### 5. QFD & ANÁLISIS DEL DISEÑO

El despliegue de la función de calidad (QFD) tiene sus inicios desde 1950 en el Japón mediante la utilización de los diagramas de Ishikawa, como gráficos para identificar las demandas de los clientes para establecer la calidad de diseño. Actualmente el QFD es una herramienta de gran utilidad para obtener la más alta calidad a bajo costo, ya desde el diseño de los productos o servicios.

Básicamente la metodología para el desarrollo del QFD [7] consiste en:

- Fase 1. Comparar los requerimientos del cliente con las características técnicas del producto.
- Fase 2. Comparar las características técnicas de la fase 1 con las tecnologías aplicadas asociadas.

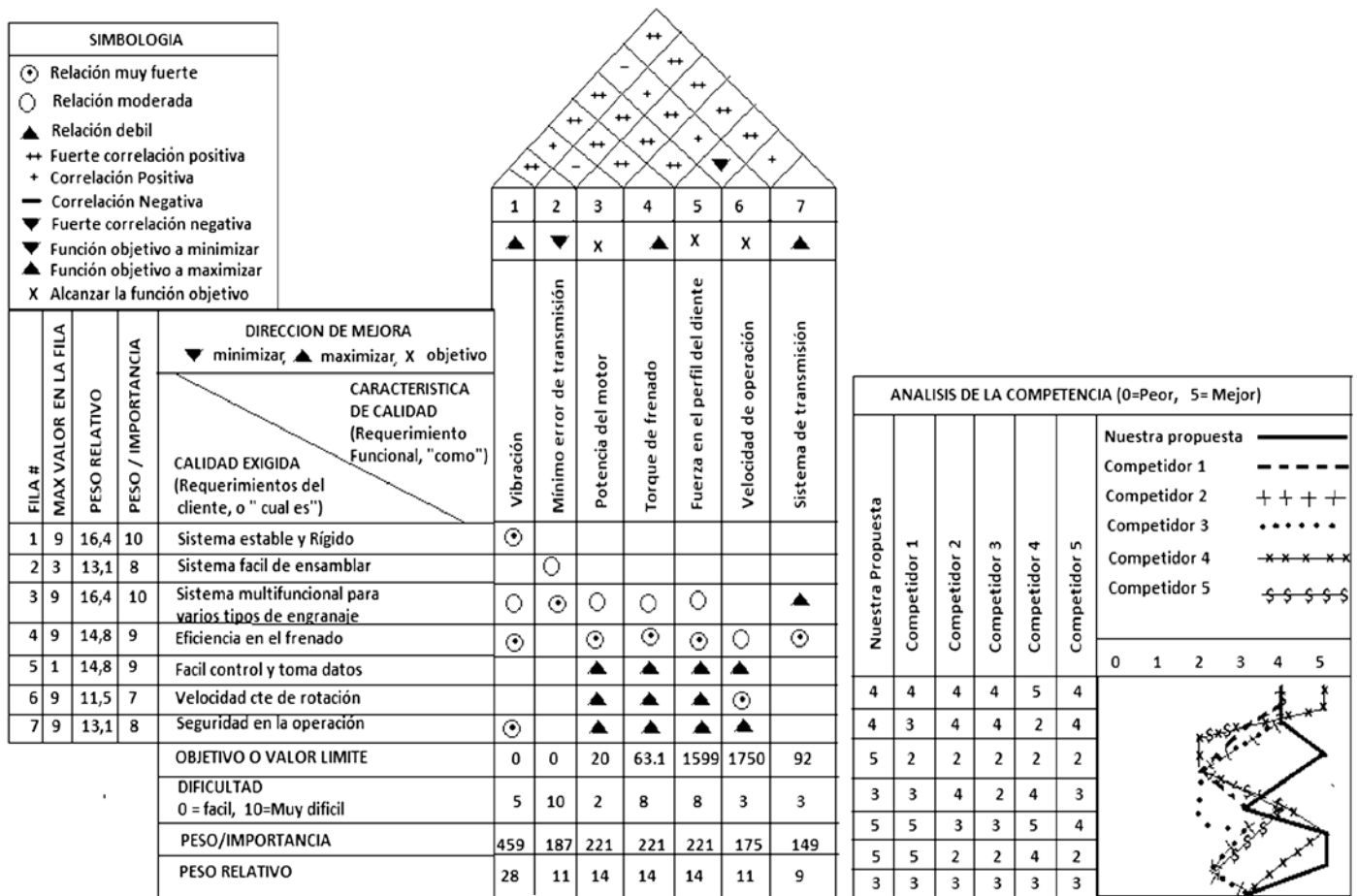
- Fase 3. Comparar las tecnologías aplicadas en la fase 2 con sus procesos de manufactura asociados, el cual ayuda a identificar las variables críticas a controlar.
- Fase 4. Comparar los procesos de manufactura con sus procesos de control de calidad asociados, el cual permite optimizar procesos.
- Fase 5. Compara los procesos de control de calidad con sus indicadores de control estadístico.
- Fase 6. Compara los parámetros del control estadístico del proceso con las nuevas especificaciones o metas del proyecto.

Según los requerimientos del cliente, se puede utilizar el grafico de calidad haciendo una traducción a características de calidad y según la matriz de correlación de estos

elementos de información, se pondera el valor de cada uno de ellos con el fin de conocer el índice de importancia para el cliente y así enfocar el esfuerzo de optimizar el diseño del producto.

En la figura 9 puede apreciarse los pesos relativos de los requerimientos del consumidor donde se observa que el diseño debe tener en su orden de importancia los siguientes aspectos: estabilidad y rigidez del sistema estructural del banco, ser un sistema multifuncional para diferentes tamaños de engranajes, eficiencia en el sistema de frenado, facilidad en su operación eléctrica y en el sistema de control para la toma de datos, facilidad de ensamble y operación del equipo, y por último la conservación de una velocidad constante de operación para la aplicación de la carga.

Figura 9. Casa de la calidad QFD [7]  
Figure 9. House of quality function deployment QFD [7]



## 6. GENERACIÓN DEL DISEÑO CONCEPTUAL

En esta fase del diseño se procede a hacer la descomposición de las funciones básicas requeridas para el alistamiento, arranque y operación de la máquina de ensayos, Figura 10. En consecuencia se puede visualizar mejor los requerimientos que deben cumplir los diferentes componentes y dispositivos requeridos en el funcionamiento de la máquina.

## 7. EVALUACIÓN FÍSICA Y ECONÓMICA DEL CONCEPTO

Tomando como base el análisis funcional del banco de pruebas, pueden salir muchos conceptos de diseño que den cumplimiento a los requerimientos establecidos, los cuales se resumen y se presentan en la figura 11, la cual da lugar a 900 combinaciones potenciales de diseño según los criterios establecidos en el QFD.

## 8. Diseño de detalle

En esta fase se procede al cálculo de todos y cada uno de los componentes mecánicos del banco de pruebas, llegándose a la configuración mostrada en la figura 12.

El diseño de las partes puede ser validado también mediante el software de elementos finitos.

“En el proceso de diseño detallado comienza la búsqueda y selección de componentes normalizados disponibles en el mercado; sin embargo, aquellos componentes que poseen características funcionales o formas que respondan a funciones muy específicas planteadas en la fase conceptual, se procederá a seleccionar los materiales y los procesos de fabricación que tentativamente se emplearán, como también la identificación de los componentes independientes; aclarándose que es común que la morfología y distribución de componentes del producto cambien en alguna medida. Finalmente se considerará las interfaces entre los componentes las cuales involucran decisiones de ingeniería (geometría, resistencia mecánica, rigidez, análisis de vibraciones, transferencia de calor, etc.) que afectan el desempeño final del producto y que pueden en algunos casos ocupar el 20% de la superficie total de los componentes” [1].

## 9. MEJORA DEL PRODUCTO

La mejora del producto básicamente es la optimización en el que se tiene en cuenta los parámetros más importantes del sistema operacional involucrados en el funcionamiento del banco de pruebas.

Figura 10. Análisis funcional Banco Pruebas  
Figure 10. Functional Analysis Test bench

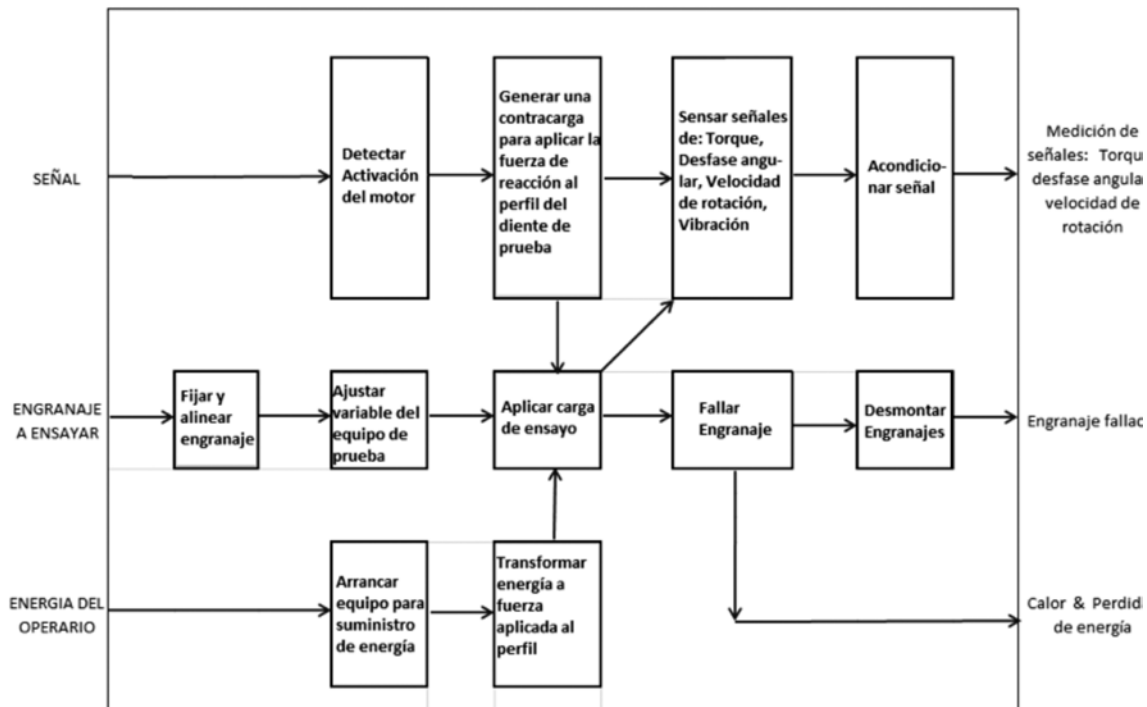
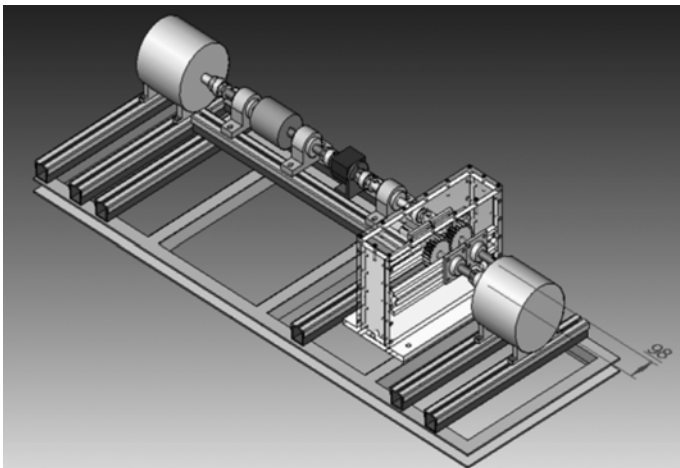


Figura 11. Combinación de conceptos  
Figure 11. Combination's concepts

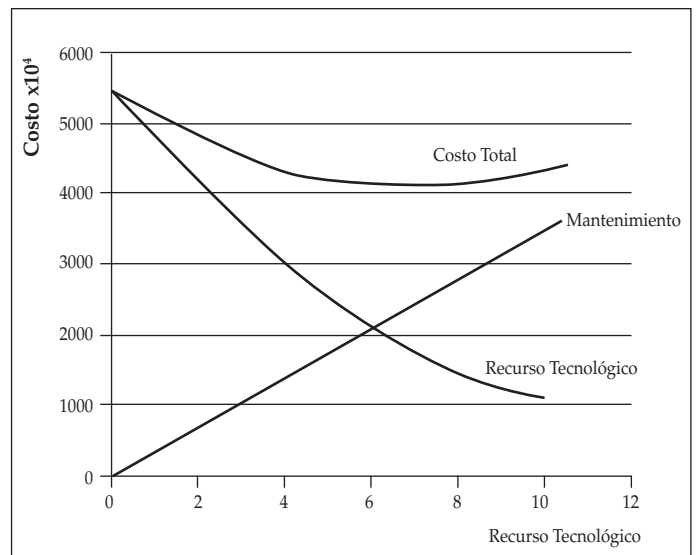
| MOVIMIENTO BANCADA   | POSICIONAMIENTO ENGRANAJE                                      | ALINEACION ENGRANAJE                            | CONTROL VELOCIDAD                                       | SISTEMA FRENADO  |                                  |
|--|--|---|---|--|----------------------------------|
| 3.4.1A<br>Buje redondo montado sobre barra redonda                       | 3.4.2A<br>Posicionamiento con cuña                             | 3.4.3A<br>Alineación con guía simple o múltiple | 3.4.4A<br>Volante integrada al engranaje de prueba      | 3.4.5A<br>Freno electro magnético al eje                   |                                  |
| 3.4.1B<br>Buje cuadrado montado sobre barra redonda                      | 3.4.2B<br>Posicionamiento con cuña y tornillo prisionero       | 3.4.3B<br>Alineación Con topes a ambos lados    | 3.4.4B<br>Volante de masa                               | 3.4.5B<br>Freno electro magnético al disco y/o (engranaje) |                                  |
| 3.4.1C<br>Bancada montada sobre guía cola de milano                      | 3.4.2C<br>Posicionamiento con cuñas multiples                  | 3.4.3C<br>Alineación laser                      | 3.4.4C<br>Volante de Inercia en los ejes de transmisión | 3.4.5C<br>Generador electromagnético                       |                                  |
| 3.4.1D<br>Bancada montada sobre guía controlada con tornillo de potencia | 3.4.2D<br>Posicionamiento con cuña y ajuste con tuerca de tope |   | 3.4.4D<br>Variador de Velocidad                         | 3.4.5D<br>Motor de freno electrico asincrono 3F            |                                  |
|  | 3.4.2E<br>Posicionamiento con Buje expansión                   |   |   | 3.4.5E<br>Motor de freno electrico sincrono 3F             |                                  |
| 4  | 5  | 3   | 3   | 5  | Combinaciones potenciales<br>900 |

Figura 12. Diseño Banco de pruebas.  
Figure 12. Design of Test bench.



Para buscar el óptimo, se pueden lograr aproximaciones, las cuales traen consigo tolerancias, tanto de manufactura como de materiales, las cuales están implícitas en los factores de seguridad.

Figura 13. Gráfica optimización para el menor costo total inversión.  
Figure 13. Graphic optimization for the lowest investment total cost





En la figura 13 puede apreciarse que para las 6 alternativas de diseño referenciadas anteriormente a medida que se incrementa el recurso tecnológico, es lógico que el costo de conservación de los equipos también se incrementa. Ahora bien el comportamiento del recurso tecnológico muestra un comportamiento exponencial donde no tener los equipos, exige hacer una alta inversión para la ejecución de las pruebas y la utilización de equipos con buen avance tecnológico se minimice el costo de ensayo en los engranajes de prueba. Por tanto el menor costo total se encuentra en la intersección de los costos de mantenimiento y costos de recurso tecnológico, es decir cuando el banco de pruebas consta de 6 componentes básicos como se muestra en la figura 10.

## **10. FABRICACIÓN Y ENSAMBLE**

En la construcción del prototipo se procede a verificar los procesos de manufactura y que su funcionamiento es el previsto. De ahí que se requiera hacer una evaluación.

## **11. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO**

En esta fase se hace una verificación del funcionamiento de todo el sistema, subsistemas, componentes y partes de la máquina. Por ser el diseño un banco de pruebas, se requiere tener los protocolos de prueba para verificar los resultados obtenidos con los resultados previstos en la simulación del sistema. Si no concuerdan las pruebas, se hace necesario hacer ajustes y modificaciones para lograr los resultados esperados. Si esto se cumple, el prototipo está listo para entrar a la fase de producción [8].

## **12. MANUFACTURA**

En esta fase es necesario tener muy claro los costos de instalación de maquinaria y equipos requeridos en los procesos de manufactura. Es necesario establecer los tiempos requeridos de producción y el inventario necesario de materiales para iniciar la producción.

Otro aspecto a tenerse en cuenta son los procesos de control de calidad y evaluación permanente de las líneas de producción para hacer más rentable su producción.

## **13. RESULTADOS**

El artículo propuesto hace referencia al desarrollo de una metodología de diseño, el cual aplica para cualquier tipo de máquina o equipo [1]. Para este caso en particular se ha seleccionado un banco de pruebas para engranajes; donde se ha tenido en consideración las condiciones y cumplimiento de los requerimientos solicitados por el cliente y especificaciones de ingeniería. Por tanto, el equipo con las mejores alternativas de diseño es el propuesto en la Figura

8. Máquina para ensayo de engranajes con lazo de potencia abierto y regulación en el sistema de frenado mediante variador de velocidad. Para ilustrar mejor dicha diseño, en la Figura 12. Se muestra más en detalle el Diseño del Banco de prueba propuesto.

Otra solución alterna consiste en que el sistema de frenado sea generado mediante un freno electromagnético (Figura 7) desarrollado por Mihailidis, A y Nerantzis [6]. El inconveniente para optar por este tipo de aplicación se debe al incremento del costo que hay que hacer en equipos, lo cual es una limitante en el presupuesto asignado para la ejecución del proyecto.

La versatilidad y ventaja que tiene el equipo de prueba (figura 8) es que se pueden hacer pruebas con engranajes cilíndricos rectos de diámetros que oscilan entre 98 y 210 mm de diámetro primitivo.

## **14. CONCLUSIONES**

- La finalidad del ejercicio propuesto ha consistido en aprender a usar una metodología de diseño propuesta por Arzola [1] para una máquina de ensayos para pruebas de engranajes de perfil de involuta y perfil especial. Como parámetros se ha teniendo en cuenta las necesidades del cliente y los requerimientos de ingeniería que ayudan a optimizar todos los recursos demandados en la concepción, desarrollo y producción de todos los componentes que forman parte del banco de pruebas.
- La ventaja de implementar el QFD [7] en la metodología de diseño propuesto [1], pone en evidencia que no hay ningún equipo o máquina que no sea susceptible de ser mejorado o modificado y que cualquier equipo han sido desarrollados bajo parámetros propios de una necesidad particular y requerimiento propio en su diseño. En consecuencia la Fortaleza de la matriz QFD donde se discrimina el análisis de la competencia, muestra los puntos Fuertes y débiles que tienen los productos ya desarrollados por la competencia y donde hay que hacer énfasis para igualarlos o superarlos en los nuevos diseños propuestos.
- El modelo de optimización matemática planteada como una función lineal para el desarrollo de producto, propone como función objetivo la minimización de costos con el menor número de componentes y un conjunto de restricciones las cuales son un conjunto de ecuaciones las cuales permiten utilizarse para la toma de decisiones en la ingeniería de diseño. Claro está que existen otras técnicas para buscar el óptimo, pero traen consigo tolerancias de manufactura y materiales.[9], [10],[12].

- Las máquinas de ensayo para engranajes tienen la ventaja de presentar una verificación sobre la operación real de los engranajes al compararse con los software de simulación que si bien dan una Buena aproximación, el software solo ayuda a correlacionar y aproximar el comportamiento real de los engranajes cuando son ensayados en el bancos de pruebas [13],[14].
- El banco de pruebas desarrollado solo sirve para adelantar ensayos de Resistencia a la fatiga por contacto ya que el diseño propuesto cambia sustancialmente cuando se quiere adelantar pruebas a la fatiga por flexión.

## REFERENCIAS

- [1] Arzola de la Peña Nelson. Metodología de Diseño para ingeniería. Colección Guías de clase. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2011.
- [2] N. Sawalhi, R.B. Randall. Simulating gear and bearing interactions in the presence of faults Part I. The combined gear bearing dynamic model and the simulation of localised bearing faults. School of Mechanical and Manufacturing Engineering, The University of New South Wales, Sydney 2052, Australia. 2008.
- [3] A.R.Guillermo, V. E. Jorge, V.P. Alberto. Máquinas y equipos para ensayos de transmisiones por engranajes. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Y Facultad de Ingeniería Mecánica - Eléctrica. Universidad Veracruzana. SEDE Xalapa. 2008.
- [4] Podgornik, B., Vizintin, J. Sliding and pitting Wear Resistance of Plasma and Pulse Plasma Nitrided Steel. IoM Communications Ltd. 2001.
- [5] Townsend, D.P., Chevalier, J. L.; Zaretsky, E. V. Pitting fatigue characteristics of AISI M-50 and super nitralloy spur gears. NASA: Washington, D. C. p. 24. 1973.
- [6] Mihailidis, A., Nerantzis, I. A New System for Testing Gears Under Variable Torque and Speed. Bentham Science Publishers Ltd.: Thessaloniki, Greece. p. 14. 2009.
- [7] CNP, Centro Nacional de Productividad. Quality Function Deployment QFD, 2005.
- [8] Corzo Miguel Angel. Introduccion a la ingeniería de proyectos. 2 Ed. Limusa. 1975.
- [9] Hossein Arsham. Modelos Deterministas: Optimización lineal, <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/Business-stat>, 8a edición, 1994.
- [10] Chen, Y., Yamamoto, A.; Omori, K. Improvement of Contact Fatigue Strength of Gears by Tooth surface Modification Processing, in 12th IFToMM World Congress. 2007: Besançon (France). p. 6.
- [11] Krantz, T., Tufts, B. Pitting and Bending Fatigue Evaluations of a New Case-Carburized Gear Steel. 2007, NASA: Cleveland. p. 14.
- [12] Winkelmann, L., El-Saeed, O.; Bell, M. The Effect of Super finishing on Gear Micro pitting, in Gear technology. 2009. p. 6.
- [13] Barba, R.E., Orizaga, M. A.; Rebolgar, C. A. Banco de Pruebas de Engranajes. 2008, UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA. p. 8.
- [14] Moya, J.L., Goytisoló, R. A.; Hernández, A. E.; Machado, A. S. Simulación del Contacto en Transmisiones por Engranajes, in 8vo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. 2007: Cusco.
- [15] AGMA 925-A03 Effect of Lubrication on Gear Surface Distress. 2005. p. 58.