

**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE SOFTWARE PARA LA  
PARAMETRIZACIÓN DE ENGRANES PARA CADENAS TIPO POZ.**

EDWIN ALBERTO MEDINA SILVA.  
RAÚL ANDRÉS CASTELLANOS LOPÉZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGIA E INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ, D.C  
2017.

**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE SOFTWARE PARA LA  
PARAMETRIZACIÓN DE ENGRANES PARA CADENAS TIPO POZ.**

EDWIN ALBERTO MEDINA SILVA.  
RAÚL ANDRÉS CASTELLANOS LÓPEZ

Trabajo de tesis para optar por el título de:  
Ingeniero Mecánico

Director:  
ING. CARLOS ARTURO BOHORQUEZ AVILA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS  
FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ, D.C  
2017.

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
2. ESTADO DEL ARTE.....	8
3. JUSTIFICACIÓN.....	10
4. OBJETIVOS.....	11
4.1. Objetivo general.....	11
4.2. Objetivos específicos.....	11
5. MARCO TEÓRICO.....	12
5.1. Engranés.....	12
5.2. Cadenas.....	13
5.3. Fuerzas en engranes.....	14
6. METODOLOGIA.....	15
7. CRONOGRAMA.....	17
8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN.....	18
BIBLIOGRAFÍA.....	19

## LISTA DE ILUSTRACIONES.

<b>Ilustración 1</b> Geometría del contacto y ángulo de presión de dientes .....	12
<b>Ilustración 2.</b> Nomenclatura de diente de engrane .....	12
<b>Ilustración 3.</b> Cadena para transmisión de potencia de rodillos.....	13
<b>Ilustración 4.</b> Fuerzas sobre un diente de engrane.....	14
<b>Ilustración 5.</b> Metodología propuesta para el desarrollo de los objetivos. ....	15

## LISTA DE TABLAS.

<b>Tabla 1.</b> Cronograma General. ....	17
<b>Tabla 2.</b> Diagrama de Gantt.....	17
<b>Tabla 3.</b> Presupuestos y fuentes de financiación.....	18

## INTRODUCCIÓN.

Los engranes han representado desde su implementación elementos mecánicos muy importantes en la historia y desarrollo de la humanidad hasta la actualidad, porque han permitido la transmisión de potencia en diferentes aplicaciones como reductores de velocidad, bombas, ventiladores, cajas de cambios, ETC.

Dada su vitalidad e importancia en la mayoría de componentes y elementos que tienen movimiento, hay engranes de diversos tipos y formas de acuerdo a su aplicación (engranes rectos, cónicos, helicoidales, catarinas, coronas ETC).

Para la fabricación de estos elementos mecánicos existen diferentes métodos, el más conocido es por generación con fresa madre que es un proceso metalmeccánico que se realiza cuando el engrane es fabricado en materiales metálicos. Sin embargo no todos los engranes pueden ser fabricados de esta manera, en algunos casos se requiere de un modelo CAD para traducirlo a máquinas que permitan la generación de estos engranes.

Por estas razones en esta tesis se realizara una aplicación que permita parametrizar las variables que están implícitas en un engrane para cadena tipo POZ utilizados en las transmisiones de la industria de la palma y la caña de azúcar. Para obtener al final de la parametrización el modelo CAD y los planos de fabricación.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En La evolución de la ingeniería se ha hecho necesaria la elaboración de imágenes CAD (Computer – aided design) de cualquier tipo de pieza requerida para la fabricación de estos elementos con sus cotas reales. Hasta el momento esas imágenes existen, pero en el caso de los engranes los perfiles no eran los reales, simplemente se aproximaban por una curva cualquiera pues era simplemente una imagen. Actualmente se buscan las curvas reales para que por medio de procesos de fabricación como el prototipado rápido (revolucionario proceso de producción que a partir de una imagen CAD) o el corte por máquinas de corte por láser u oxicorte que funcionan con modelos CAD traducidos a una extensión CNC se puedan generar tal y como es la pieza en cuestión [1].

Actualmente debido a la falta de manuales técnicos y de modelos CAD en las grandes bases de elementos mecánicos y fabricantes con la información de las transmisiones con engranes para cadenas POZ utilizadas en la industria del procesamiento de palma y caña de azúcar; en los proceso de fabricación encontrar esta información, representarla en un modelo CAD y finalmente realizar un plano de fabricación puede significar mucho tiempo a partir del recibimiento de una orden de compra de un cliente.

Por estos motivos se vio la necesidad de realizar una aplicación de software que permita parametrizar los engranes POZ que son más utilizados en esta industria, para reducir el tiempo en la generación de modelos y CAD y por ende la fabricación del elemento en sí.

## 2. ESTADO DEL ARTE.

Los engranes han sido muy estudiados desde la ingeniería; más específicamente en el área del diseño de elementos mecánicos dichos estudios conducen a la relación entre los esfuerzos y deformaciones, que permiten relacionar el tipo de cargas con los diferentes tipos de engranajes que existen; todas estas variables son de suma importancia a la hora de generar un engrane desde su modelo CAD hasta la fabricación.

Para entender los estudios acerca de cómo se han ido adelantando y como los investigadores han abordado el tema se ha analizado el artículo de investigación denominado **Modeling the tooth flanks of hobbed gears in the CAD environment**<sup>1</sup>, este artículo muestra la metodología de simulación utilizada para la generación de flancos de los dientes para engranes cilíndricos.

En el artículo los autores caracterizan el engrane que estudiaron, mostrando que el material de fabricación es un acero de bajo carbono para carbonización de la ASM 625 forjado, la dureza encontrada en el engrane estaba en el rango de los 30-35 HRC, donde los perfiles de la rueda estaban tratados térmicamente, logrando una dureza entre los 35-41 HRC.

La generación del tallado fue realizada con una talladora Pfauter PE 300, a una velocidad de tallado de 140m/min, con una alimentación axial de 2mm/Rev. y con una profundidad de tallado final de 3.7mm.

Posteriormente a la finalización del engrane, el efecto de las condiciones de trabajo del diente fueron medidas con las coordenadas de medición de una maquina CNC modelo PNC 65 con una precisión de forma estándar de 0.1 micras. Al final de la medición los datos recolectados permitieron calcular la desviación del perfil, de la hélice y del espesor del diente. Para determinar la medición de la superficie topográfica del diente se utilizó un perfilometro en 3D obteniendo que el espacio de los flancos obtenidos del mecanizado fuera de 3mm.

Finalmente para obtener los modelos de la superficie del diente de los parámetros de construcción, se aplicaron los comandos de generación en un programa de simulación; con esto se obtuvo un modelo en 3 dimensiones del flanco de las superficies del diente del engrane cilíndricos. Los perfiles del flanco del diente tallado fueron analizados en una sección normal y separada con un círculo interpolado de 26.5826 mm de radio.

---

<sup>1</sup> J. Michalski & L. Skoczylas  
Springer-Verlag London Limited 2007



Se encontró que después de haber examinado todos los componentes de desviación tangencial los resultados del flanco del diente finalmente obtienen una forma con mayor precisión.

Para complementar esta información se analizó el artículo denominado **Development of a WormCAD using Parametric Design Approach**<sup>2</sup>. Los autores generaron el algoritmo para el diseño de un engrane por tornillo o un engrane sin-fin; en el algoritmo generado se encuentran todas las variables que parametrizan..

En las variables se encuentran:

- Modulo.
- Diámetro primitivo del sin fin.
- Numero de dientes.
- Longitud del diente.
- Diámetro exterior.
- Espesor de la cara.
- Torque transmitido.
- Cargas tangenciales del engrane.

Con la generación del algoritmo; los autores crearon un software que involucra los parámetros anteriormente descritos y que genera un reporte de diseño indicando si es seguro o no el cálculo del diseño; dando como resultado las cargas tangenciales, cargas dinámicas y estáticas, la disipación de calor y abrasión.

Finalmente con este software los autores permiten generar precisión en los cálculos porque el algoritmo utiliza aproximación uniforme en todos sus resultados; por lo tanto se observa la gran diferencia entre utilizar el software y realizar los cálculos manualmente.

---

<sup>2</sup> Olayinka Oluwole Agboola, Peter Pelumi Ikubanni, Adeolu Adesoji Adediran, Rotimi Adedayo Ibikunle, Bamidele Temitope Ogunsemi  
ANALELE UNIVERSITĂȚII

### 3. JUSTIFICACIÓN.

Durante la historia de la humanidad el diseño de elementos de transmisión de potencia se han utilizado en diferentes tipos de sistemas, mecanismos y maquinas; entre estos elementos se destacan los engranes que se utilizan siempre que se quiera cambiar la velocidad o par de torsión de un dispositivo rotatorio.

En estos elementos los diseñadores en su mayoría ingenieros buscan conocer todos las variables que físicamente se presentan, para poder decidir de manera eficiente el mejor sistema que cumpla con sus necesidades; entre los aspectos y variables fundamentales se encuentran los materiales, formas, tamaños, esfuerzos y deformaciones a los que son sometidos los engranes.

Por ende la base del buen funcionamiento de un sistema o maquina parte de un buen diseño que radica en el conocimiento de todos los aspectos que influyen en lo que se desea crear. Y el poder realizar cambios potenciales para optimizar el funcionamiento o inclusive las características de cualquier elemento mecánico en pro de su funcionalidad es lo que se busca en un diseño óptimo, a partir de investigaciones y estudios de transmisiones en cada uno de sus elementos fundamentales. En algunos casos la brecha que existe entre los estudios y diseños óptimos de transmisiones con las empresas de fabricación de dichos elementos es muy grande, porque el simple hecho de desconocer o interpretar parámetros diferentes puede afectar el diseño que se verá reflejado en el funcionamiento de la maquina; por estas razones existen normas y entes que han estandarizado este tipo de elementos y los procesos de fabricación.

Pero este tipo de estandarización no aplica cuando los elementos en este caso los engranes son especiales o no estandarizados. En el caso de la fabricación de engranes para cadena de tipo POZ, que aunque son elementos estandarizados muy pocas empresas en Colombia los fabrican, por tanto dependen de la información de los grandes fabricantes; actualmente demanda un proceso de cálculos y graficación que genera retrasos en la producción poder generar estos elementos, debido a la nula existencia de bases de datos que contengan modelos generales de estos tipos que se puedan descargar a la interfaz de algún software CAD haciendo que el personal encargado de esta tarea deba realizar cálculos manuales. No obstante el proceso se puede llevar a cabo perfectamente, pero requiere más desgaste y tiempo para ello, lo que contradice la forma actual y rápida de realizar el modelado de estos elementos para poder fabricar un elemento tan vital en la industria de la palma.

## 4. OBJETIVOS.

### 4.1. **Objetivo general.**

Desarrollar una aplicación de software para la parametrización de los engranes para cadena tipo POZ más utilizados en la industria basados en el manual PALM OIL de SKF.

### 4.2. **Objetivos específicos.**

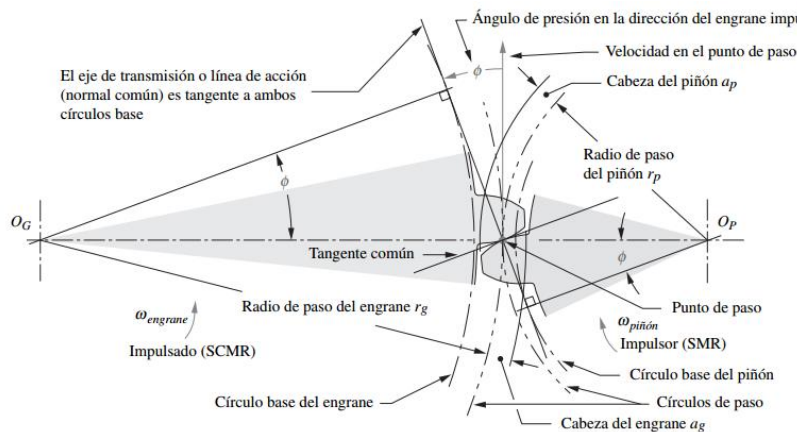
- Parametrizar las variables implícitas en los piñones para cadenas tipo POZ más utilizados en la industria basados en el manual PALM OIL de SKF
- Generar el modelo CAD a partir de la parametrización de los engranes para cadena tipo POZ más utilizados en la industria basados en el manual PALM OIL de SKF
- Obtener los planos de fabricación a partir del modelo de los engranes para cadena tipo POZ más utilizados en la industria basados en el manual PALM OIL de SKF

## 5. MARCO TEÓRICO.

### 5.1. Engranés

Los engranes son ruedas cilíndricas dentadas, para transmitir movimiento y potencia de un eje giratorio a otro. El perfil del diente se genera a partir de una curva llamada *involuta* que se genera al desenrollar una cuerda tirante de un cilindro llamado *evoluto*. En la figura 1 se muestran dos involutas en cilindros distintos en contacto o engranados, es decir muestran el acople de dos dientes de engrane. [2]

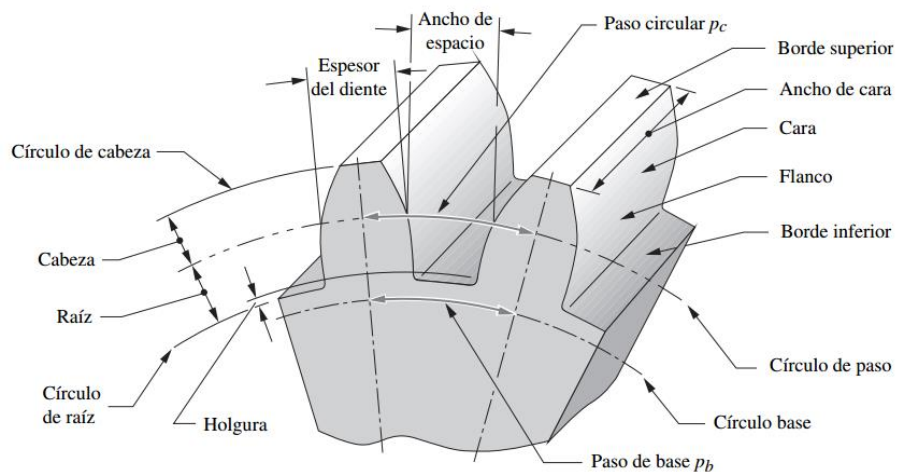
**Ilustración 1** Geometría del contacto y ángulo de presión de dientes de engrane de involuta



Geometría del contacto y ángulo de presión de dientes de engrane de involuta. [2]

Es pertinente para el presente trabajo conocer la nomenclatura básica de los engranes así como las especificaciones usadas para calcular los parámetros de diseño según las necesidades.

**Ilustración 2.** Nomenclatura de diente de engrane



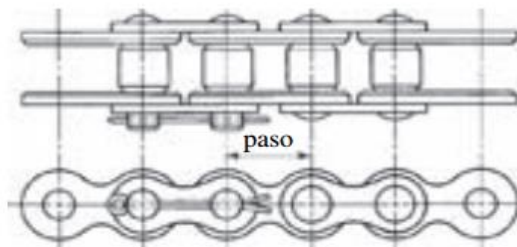
Nomenclatura de diente de engrane. [2]

El círculo de paso y el círculo base se definen generalmente de acuerdo a la necesidad de trabajo o por requerimiento del cliente, la altura del diente se define por el addendum y el dedendum referidos al círculo de paso nominal. El dedendum es ligeramente más grande que el addendum para crear una pequeña cantidad de holgura entre la punta de un diente engranado (círculo de cabeza) y la parte inferior del espacio del diente del otro (círculo de raíz). El espesor del diente se mide en el círculo de paso y el ancho del espacio del diente es un poco más grande que su espesor. La diferencia entre ambas dimensiones es el juego entre dientes. El ancho de la cara del diente se mide a lo largo del eje del engrane. El paso circular es la longitud de arco a lo largo de la circunferencia del círculo de paso de un punto de un diente al mismo punto en el siguiente diente. El paso circular define el tamaño del diente. [2]

## 5.2. Cadenas.

Se utilizan a menudo en aplicaciones en las que se requiere una transmisión positiva (ajuste de fase) y grandes requerimientos de par de torsión o en las que las altas temperaturas impiden el uso de bandas de distribución. Cuando los ejes de entrada y salida están muy separados entre sí, una transmisión de cadena puede ser la opción más económica.

*Ilustración 3. Cadena para transmisión de potencia de rodillos*



*Cadena para transmisión de potencia de rodillos. [3]*

Las cadenas de acero pueden utilizarse en muchos ambientes hostiles químicos o térmicos. Se han diseñado muchos tipos y estilos de cadena para varias aplicaciones, que van desde la cadena de rodillos común (FIG 3), como la de una bicicleta o motocicleta, hasta los diseños más costosos de dientes invertidos o “cadena silenciosa” utilizados en los sistemas de impulsión de árbol de levas en motores automotrices costosos. La forma de los dientes de la rueda la determina la necesidad de adaptarse al contorno de la parte de la cadena que se adapte en

las ranuras. En este caso, la cadena de rodillos tiene pasadores cilíndricos enganchados en la rueda dentada. [2]

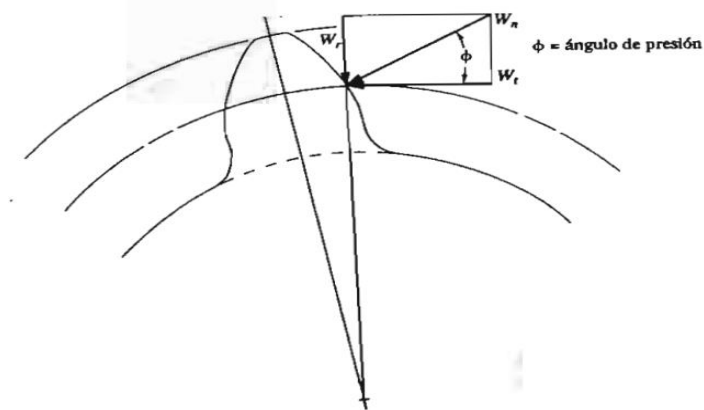
### 5.3. Fuerzas en engranes

Las fuerzas que actúan sobre el diente de un engrane esta determinadas por la potencia que se suministra desde el motor hacia el eje que sostiene el engrane, el cual gira a la misma velocidad del motor. En consecuencia el par torsional estará determinado así. [3]

$$\text{par torsional} = \frac{\text{potencia}}{\text{velocidad de rotación}} = \frac{P}{n}$$

El eje de entrada transmite la potencia desde el acoplamiento hasta el punto donde está montado el piñón, mediante una cuña se transmite la potencia del eje al piñón, consecuentemente los dientes del piñón impulsan a los dientes del engrane y con ello transmiten la potencia a este. [3]

Ilustración 4. Fuerzas sobre un diente de engrane



Fuerzas sobre un diente de engrane [3]

Dónde:

$W_r$  = fuerza radial

$W_n$  = fuerza normal

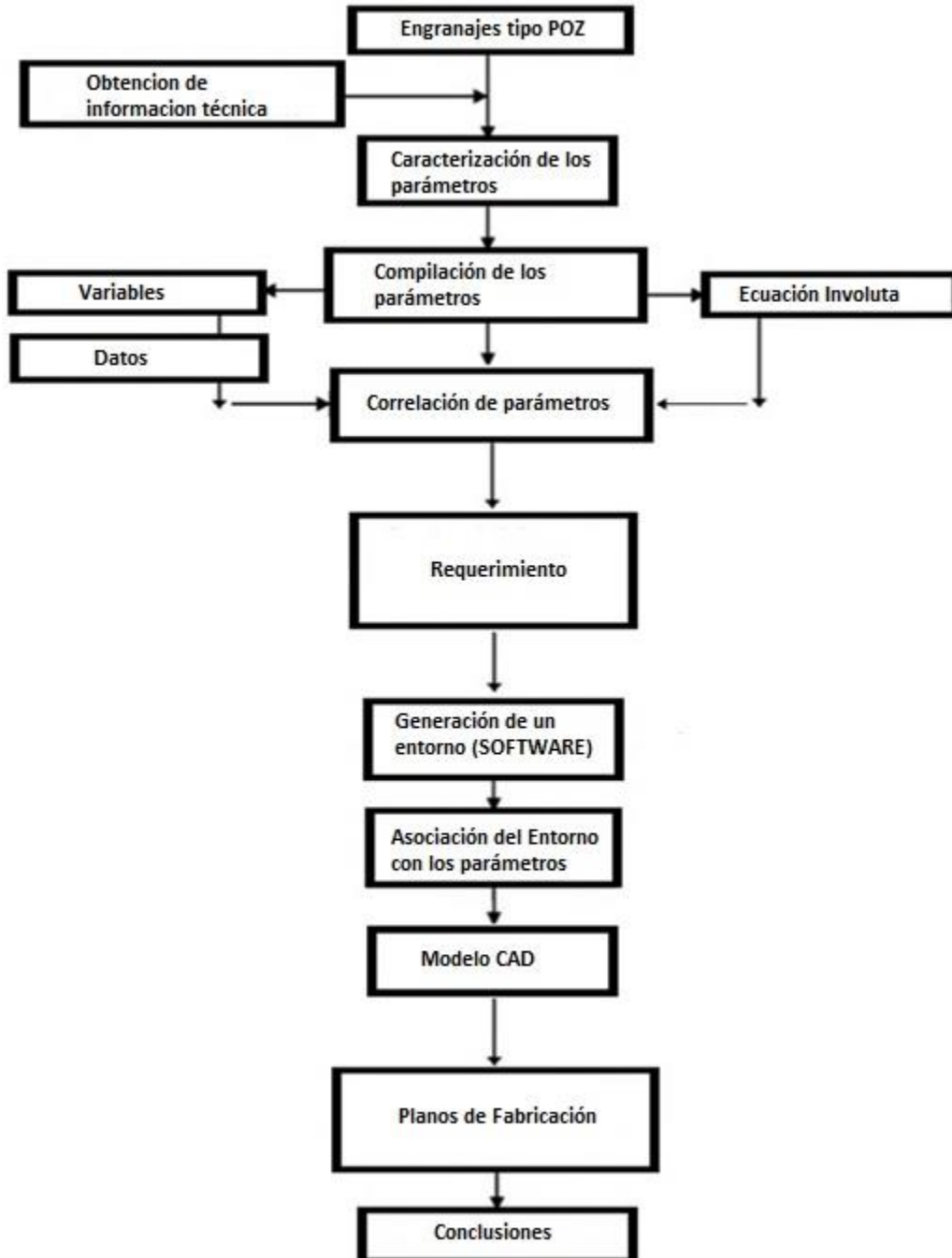
$W_t$  = fuerza tangencial

En la FIG 4 se ilustran las fuerzas principales que actúan sobre un diente de un engrane debido a la potencia aplicada que proviene del motor [3], en el desarrollo posterior de este trabajo se hará un análisis más detallado del comportamiento de dichas cargas y sus implicaciones.

## 6. METODOLOGIA.

La metodología que se implementara para el desarrollo del proyecto de grado, se describe en la (ilustración 16.), siendo la metodología más adecuada para el estudio sistemático de los procedimientos descritos en el proyecto.

*Ilustración 5. Metodología propuesta para el desarrollo de los objetivos.*



*Metodología propuesta para el desarrollo de los objetivos.*

El elemento a estudiar en el proyecto de grado serán los engranes para cadena tipo POZ más importantes en la industria de la palma y caña de azúcar, inicialmente se comenzará con la recopilación de información técnica proveniente de los manuales de los fabricantes especialmente de los catálogos SKF.

Posteriormente se realizará un análisis de los datos pertinentes para la parametrización; para esto se compilará estos parámetros obtenidos a partir de la recopilación de información y los correlacionaremos con las tablas con los datos de las variables que son: Número de dientes, paso, diámetro exterior, diámetro primitivo, diámetro del rodillo, profundidad del rodillo, diámetro de la manzana, diámetro del eje y dimensiones del cuñero, para ir conformando la unión de información. Adicionalmente a estos parámetros se calculará la ecuación de la involuta del perfil del diente para poderla parametrizar.

Se realizará una matriz QFD para la selección del programa que mejor se adapte a nuestra parametrización relacionando los costos, necesidades y funcionalidad final

Con toda la información relevante se designará una función en un programa de modelamiento CAD que programado previamente interprete los cambios en el tipo de engrane que se quiera modelar, para después crear un modelo en tres dimensiones.

El desarrollo del modelo nos permitirá desarrollar una interfaz con los complementos del mismo programa de modelamiento CAD para obtener los planos de fabricación del engranaje que se deseé parametrizar.



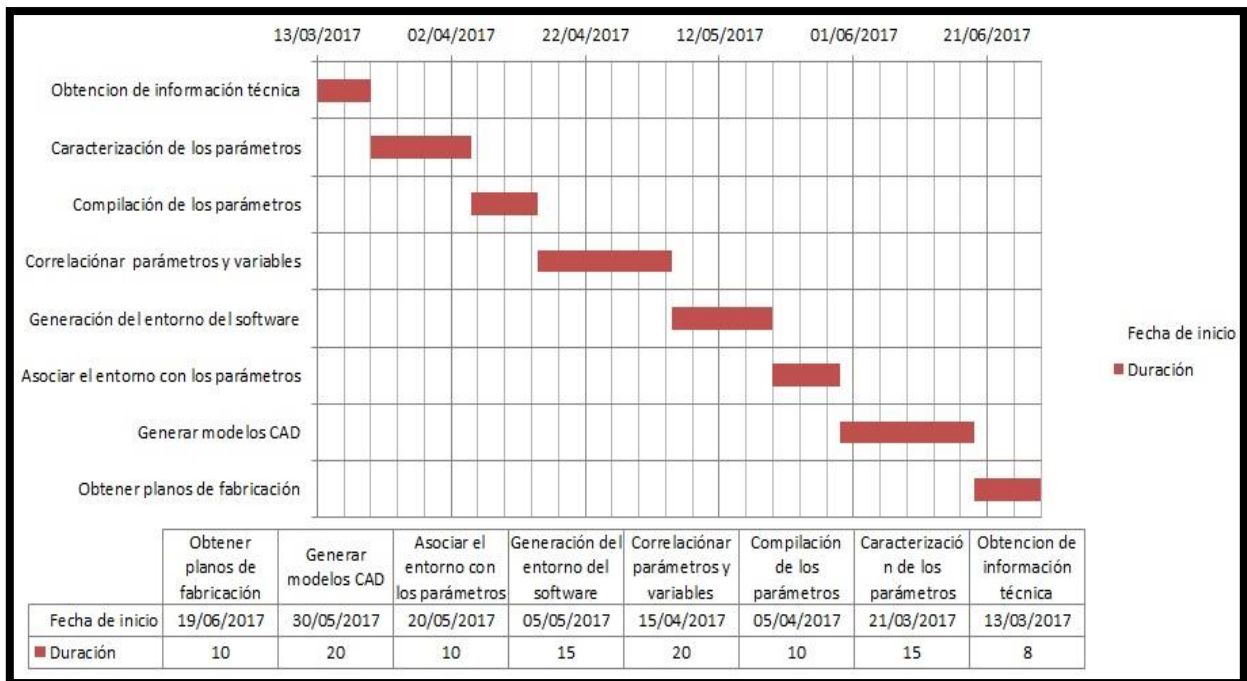
## 7. CRONOGRAMA.

Según la metodología planteada anteriormente, las fechas establecidas a nivel de diagrama tipo Gantt de las actividades son las siguientes:

**Tabla 1. Cronograma General.**

Actividad	Fecha de inicio	Duración	Fecha de terminación
Obtención de información técnica	13/03/2017	8	21/03/2017
Caracterización de los parámetros	21/03/2017	15	05/04/2017
Compilación de los parámetros	05/04/2017	10	15/04/2017
Correlacionar parámetros y variables	15/04/2017	20	05/05/2017
Generación del entorno del software	05/05/2017	15	20/05/2017
Asociar el entorno con los parámetros	20/05/2017	10	30/05/2017
Generar modelos CAD	30/05/2017	20	19/06/2017
Obtener planos de fabricación	19/06/2017	10	29/06/2017

**Tabla 2. Diagrama de Gantt**



## 8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN.

Los costos del trabajo realizado serán asumidos en su totalidad con recursos propios, aunque en su mayoría no representan una cuantía monetaria ya que esencialmente se trabajará con recursos de software.

**Tabla 3.** Presupuestos y fuentes de financiación.

<b>Actividades, materiales u elementos</b>	<b>Costo (\$)</b>
Matriz de calidad QFD	Descarga gratuita de Internet
Software de parametrización	Licencia gratuita versión académica
Microsoft Excel 2016	Licencia gratuita versión académica
SIEMENS Solid Edge ST8	Licencia gratuita versión académica
Catálogo engranes POZ (SKF)	Descarga gratuita de Internet
Textos de consulta y asesoría	Préstamo gratuito biblioteca UDFJC
Papelería, insumos didácticos y otros	50.000
<b>TOTAL</b>	<b>50.000</b>

## BIBLIOGRAFÍA.

**[1]** CHACÓN CASTILLO, Iciar Generación paramétrica de engranajes rectos y helicoidales en pre/ ENGINEER, Universidad pontificia Comillas, MADRID 1999.

**[2]** NORTON Robert L. Diseño de maquinaria, capítulo 9. Editorial Mc Graw-Hill, quinta edición. México D.F. 2013.

**[3]** MOTT Robert L. Diseño de elementos de máquinas, capítulos 8 y 9. Editorial PEARSON, cuarta edición. México D.F. 2006.