UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Diseño de una herramienta didáctica computacional para evaluar el comportamiento cinemático de un tren de engranajes cilíndricos rectos.

López Leonardo

Sánchez Edgar

Naguanagua, 03 de Mayo del 2011

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Diseño de una herramienta didáctica computacional para evaluar el comportamiento cinemático de un tren de engranajes cilíndricos rectos.

Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Mecánico

Tutor académico:
Lin Hurtado

Autores:
López Leonardo
Sánchez Edgar

Naguanagua, 26 de abril del 2010

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar la Tesis de Pregrado titulada *"***Diseño de una herramienta didáctica computacional para evaluar el comportamiento cinemático de un tren de engranajes cilíndricos rectos***",* presentada por los bachilleres: **Edgar Sánchez** y **Leonardo López**, portadores de la Cédula de Identidad Nº: **17.777.311** y **17.777.347**, respectivamente; hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.

_____

Prof. Tutora.
Lin Hurtado

_____ _____

Prof. Jurado1, *Ing.*
Víctor Carrera

Prof. Jurado2, *Ing.*
José Velasco

En Naguanagua a los __ días del mes de _____ de 2011

Agradecimientos

Dedico este trabajo y toda mi carrera universitaria a Dios por darme la fuerza necesaria para luchar día tras día y seguir adelante. Le agradezco a mis padres, hermanos y sobrinos ya que gracias a ellos soy quien soy hoy en día, fueron los que me dieron ese cariño y calor humano necesario, son los que han velado por mi salud, estudios, educación, alimentación entre otros, es a ellos a quien les debo todo, horas de consejos, de regaños, de tristezas y de alegrías de las cuales estoy muy seguro que las han hecho con todo el amor del mundo para formarme como persona integral y de la cual me siento extremadamente orgulloso, mis más sinceros agradecimientos a la Profesora Lin Hurtado y al Profesor Víctor Carrera, por su guiatura y sugerencias oportunas durante el desarrollo de este trabajo de investigación, a mi compañero de tesis Edgar Sánchez, además a Lemys López por su ayuda desinteresada en todo momento en este trabajo.

Atentamente

Leonardo López

Quiero dar gracias a Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida y lograr otra meta más en mi carrera.

A mis padres por su cariño, comprensión y apoyo sin condiciones ni medida. Gracias por guiarme sobre el camino de la educación.

A mi amor Edith Castillo por tu apoyo, compresión y amor que me permite sentir poder lograr lo que me proponga. Gracias por escucharme y por tus consejos (eso es algo que lo haces muy bien). Gracias por ser parte de mi vida; eres lo mejor que me ha pasado.

A mi hermana Sheila Sánchez por tus comentarios, consejos, sugerencias y opiniones, además de ser mi mejor amiga.

A mi abuela por encomendarme siempre con Dios para que saliera adelante. Sé que sus oraciones fueron escuchadas.

Gracias a todos mis amigos que estuvieron conmigo y compartimos tantas aventuras, experiencias, desveladas y triunfos en la carrera. Gracias a cada uno por hacer de mi carrera una etapa inolvidable.

A los profesores Lin Hurtado y Víctor Carrera y a mi compañero de tesis Leonardo López por ser parte del grupo de trabajo. Sus consejos, paciencia y opiniones sirvieron para que me sienta satisfecho en mi participación dentro del proyecto de investigación.

A Lemys López por su incondicional apoyo en este trabajo.

Atentamente

Edgar Sánchez

Índice general.

CAPÍTULO 1 ..... **1**
1.1 Introducción **1**
1.2 Planteamiento del problema **1**
1.3 Objetivos **2**
1.3.1 Objetivo General **2**
1.3.2 Objetivos Específicos **3**
1.4 Limitaciones **3**
1.5 Alcance **3**
1.6 Justificación **4**
1.7 Antecedentes preliminares **4**
CAPÍTULO 2 ..... **7**
2.1 Ley fundamental de engranajes **7**
2.1.1 Involuta **8**
2.1.2 Angulo de presión **10**
2.1.3 Geometría del acoplamiento **11**
2.2 Nomenclatura de los dientes de engrane **13**
2.2.1 Razón de contacto **15**
2.3 Interferencia **16**

2.3.1 Aumentar la distancia entre centros 18
2.3.2 Aumentar el paso diametral 20
2.3.3 Aumentar el diámetro del piñón 21
2.3.4 Aumentar el ángulo de presión..... 22
2.3.5 Engranes no convencionales de addendum largo y corto 23
2.4 Trenes de Engranes 24
CAPÍTULO 3 27
3.1. Tipo de Investigación..... 27
3.2. Diseño de la Investigación 28
3.3. Diseño de Etapas Metodológicas de la Investigación……29
3.3.1. Etapa I: Investigación de Aspectos Teóricos 29
3.3.2. Etapa II: Selección del Mecanismo a Desarrollar 30
3.3.3. Etapa III: Selección de Normas 30
3.3.4. Etapa IV: Elaboración de Algoritmo 30
3.3.5. Etapa V: Desarrollo de la Interfaz Visual..... 30
3.3.6. Etapa VI. Desarrollo del Código de Programación..... 30
3.3.6. Etapa VII: Validación del Programa 31
3.3.6. Etapa VIII: Elaboración del Manual del Usuario 31
3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 31
3.5 Técnicas de Procesamiento y análisis de datos 32
3.6 Aspectos administrativos..... 32
3.6.1. Recursos Materiales 32
3.6.2. Recursos Humanos 32
CAPÍTULO 4 33
4.1 Introducción..... 33
4.2 Software Libre 33
4.3 NetBeans IDE 35
4.3.1 Interfaz de trabajo de NetBeansIDE..... 36
4.4 Html 37
4.5 Php..... 38

4.6 Css 39
4.7 JavaScript 40
4.8 JQuery 41
4.9 Ajax 42
CAPÍTULO 5 47
5.1 Ecuaciones Empleadas 47
5.1.1 Relación de Transmisión 47
5.1.2 Diámetro de Paso Piñón y Engrane 48
5.1.3 Diámetro Base de Piñón y Engrane 48
5.1.4 Addendum 49
5.1.5 Deddendum 49
5.1.6 Diámetro Addendum Piñón y Engrane 49
5.1.7 Diámetro Deddendum Piñón y Engrane 50
5.1.8 Velocidad Angular Piñón 50
5.1.9 Par Torsor Piñón 50
5.1.10 Par Torsor Engrane 50
5.1.11 Claro 51
5.1.12 Radio del Filete 51
5.1.13 Relación de Contacto 51
5.1.14 Paso Circular 52
5.1.15 Paso Base 52
5.1.16 Línea de Acción 52
5.2 Variables de entrada mínimas requerida 52
5.2.1 Selección de Normas 53
5.2.2 Variables de entrada para ISO 53
5.2.3 Variables de entrada para AGMA 54
5.3 Desarrollo de los Algoritmos 56
5.3.1 Algoritmo macro de la entrada y salida de datos calculados mediante la norma ISO 56

5.3.2 Algoritmo macro de la entrada y salida de datos calculados mediante la norma AGMA 57
5.3.3 Algoritmo para obtener el valor del Diámetro de paso del Piñón mediante la norma ISO 58
5.3.4 Algoritmo para obtener el valor del diámetro base del piñón mediante la norma ISO 59
5.3.5 Algoritmo que muestra la subrutina utilizada para determinar el valor de la distancia Addendum y del Diámetro Addendum mediante el uso de la norma ISO 60
5.3.6 Algoritmo que muestra la subrutina que determina la distancia deddendum y el diámetro 61
5.3.7 Algoritmo que determina el par torsor ejercido por el piñón 62
5.3.8 Algoritmo para determinar el valor del diámetro de paso del engrane 63
5.3.9 Algoritmo para determinar el diámetro base del engrane . 64
5.3.10 Algoritmo que determina el diámetro addendum del engrane 65
5.3.11 Algoritmo para determinar el valor del deddendum y diámetro deddendum del engrane 66
5.3.12 Algoritmo para la obtención de la relación de transmisión 67
5.3.13 Algoritmo para la obtención de la velocidad angular del engrane 68
5.3.14 Algoritmo para determinar el par torsor ejercido por el engrane 69
5.3.15 Algoritmo para determinar la distancia deddendum mediante el uso de la norma AGMA 70
5.3.16 Algritmo para generar la gráfica de dos (2) dimensiones 71
5.3.17 Algoritmo para generar gráfico 3D 73

CAPÍTULO 6 ..... **75**
6.1 Introducción **75**
6.2 Evaluación Heurística **75**
6.3 Principios de Diseño Web **77**
6.3.1 Informar acerca del estado del sistema **77**
6.3.2 Hablar el lenguaje del usuario **78**
6.3.3 Libertad y control para el usuario **79**
6.3.4 Consistencia y Estándares **79**
6.3.5 Prevención de errores **79**
6.3.6 Es mejor reconocer que recordar **81**
6.3.7 Flexibilidad y uso eficiente **82**
6.3.8 Diseño práctico y simple **82**
6.3.9 Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores **83**
6.3.10 Ayuda y documentación **83**
6.4 Resultados **85**
CAPÍTULO 7 ..... **89**
7.1 Problemas de trenes de engranes con resolución **89**
7.1.1 Problema **89**
Conclusiones **97**
Recomendaciones **99**
Referencias Bibliográficas **101**
Anexos **103**

Índice de figuras.

CAPÍTULO 2 Marco Teorico

2.1. Curva involuta 9

2.2. Geometría de contacto y ángulo de presión de dientes involutos 10

2.3. Longitud de acción, arco de acción y ángulos de ataque y salida durante el acoplamiento de un engrane y un piñón 11

2.4. Nomenclatura de los dientes de engrane 14

2.5. Contacto de engranes con interferencia 17

2.6. Socavado de engranes por interferencia..... 18

2.7. Aumento de distancia entre centros 19

2.8. Separación entre dientes 19

2.9. Aumento del paso diametral 20

2.10. Aumento de diámetro del piñón 21

2.11. Aumento del ángulo de presión 22

2.12. Addendum largo y corto 23

CAPÍTULO 4 Programas y Lenguajes

4.1 Interfaz de NetBeans 37

4.2 Linea de Código en Html 38

4.3 Lineas de Código en PHP 39

4.4 Lineas de Código en Css 40

4.5 Lineas de Código en JavaScript 41

4.6 Tecnologias agrupadas bajo el concepto de Ajax 43

4.7 Comparación Gráfica del Modelo Tradicional de Aplicación Web y del Nuevo Modelo propuesto por Ajax 44

CAPÍTULO 5 Diseño de la Herramienta Computacional

5.1 Selección de Norma 53

5.2 Variables de Entrada para ISO 54

5.3 Variables de Entrada para AGMA 55

5.4 Algoritmo macro de la entrada y salida de datos calculados mediante la norma ISO 56

5.5 Algoritmo macro de la entrada y salida de datos calculados mediante la norma AGMA 57

5.6 Algoritmo para obtener el valor del Diámetro de paso del Piñón mediante la norma ISO 58

5.7 Algoritmo para obtener el valor del Diámetro de paso del Piñón mediante la norma AGMA 59

5.8 Algoritmo que muestra la subrutina utilizada para determinar el valor de la distancia Addendum y del Diámetro Addendum mediante el uso de la norma ISO 60

5.9 Algoritmo que muestra la subrutina que determina la distancia deddendum y el diámetro deddendum en ISO 61

5.10 Algoritmo que determina el par torsor ejercido por el piñón 62

5.11 Algoritmo para determinar el valor del diámetro de paso del engrane 63

5.12 Algoritmo para determinar el diámetro base del engrane 64

5.13 Algoritmo que determina el diámetro addendum del engrane 65
5.14 Algoritmo para determinar el valor del deddendum y diámetro deddendum del engrane 66
5.15 Algoritmo para la obtención de la relación de transmisión 67
5.16 Algoritmo para la obtención de la velocidad angular del engrane 68
5.17 Algoritmo para determinar el par torsor ejercido por el engrane.. 69
5.18 Algoritmo para determinar la distancia deddendum mediante el uso de la norma AGMA 70
5.19 Algoritmo para generar la gráfica de dos (2) dimensiones 71
5.20 Algoritmo para generar la gráfica de tres (3) dimensiones 73
CAPÍTULO 6 Evaluacion del Software
6.1 Alerta de selección de norma 77
6.2 Lenguaje utilizado en el programa 78
6.3 Validaciones de la aplicación 80
6.4 Visualizacion permanente de la información 81
6.5 Ayuda en la barra de herramientas 84
6.6 Ayuda en la barra de herramientas y al lado de cada formulario 84
6.7 Ayuda al pasar el cursor sobre el boton de ayuda al lado del formulario 85
CAPÍTULO 7 Analisis de Resultados
7.1 Valores obtenidos por el programa para la primera reduccion .. 92
7.2 Grafica de los engranes de la primera reduccion en la que se puede apreciar que no hay interferencia 93
7.3 Valores obtenidos por el programa para la segunda reduccion . 93
7.4 Grafica de los engranes de la segunda reduccion en la que se puede apreciar que existe interferencia 94
7.5 Grafica de los engranes de la segunda reduccion haciendo zoom en la zona central en la cual se puede apreciar que existe intereferencia 94

Resumen

El presente trabajo especial de grado lleva por título “Diseño de una herramienta didáctica computacional para evaluar el comportamiento cinemático de un tren de engranajes cilíndricos rectos”, el cual está diseñado para la asistencia en la resolución de problemas de trenes de engranes cilíndricos rectos de doble reducción, dirigido principalmente al área académica, con el fin de simplificar el trabajo durante la resolución de problemas de este tipo.

La utilización de una herramienta computacional para el diseño de un tren de engranajes cilíndricos rectos, permite que el diseñador escoja la configuración más conveniente y pueda visualizar los pares de engranajes para predecir las características de movimiento del mecanismo, apoyando este el área educativa en el aprendizaje y dominio de las materias de diseño mecánico, permitiendo al estudiante tener visualmente una simulación con los resultados de las diferentes variables que puedan intervenir en el diseño. Cabe destacar que la herramienta computacional sólo sirve de asistencia durante la resolución de problemas de trenes de engranajes cilíndricos rectos de doble reducción, es decir, el usuario debe tener previos conocimientos con respecto al área de diseño mecánico, para obtener resultados satisfactorios.

Por medio de la herramienta computacional se puede observar la gráfica de los pares de engranes en la cual se puede verificar la existencia de interferencia o no en el sistema.

Palabras claves: Herramienta computacional, tren de engranajes, interferencia, gráfica.

Abstract

This degree thesis entitled "Design of a computer didactic tool for evaluate the kinematic behavior of a cylindrical straight gear train, which is designed to aid in solving problems of straight cylindrical gear train double reduction, primarily aimed at academics, in order to simplify the work for solving such problems.

The use of a computational tool for the design of a straight cylindrical gear train, allows the designer to choose the most convenient configuration and can display the gear pairs to predict the motion characteristics of the mechanism supporting this educational area learning and mastery of the mechanical design, allowing students to have visual simulation with the results of the different variables that may be involved in the design. Notably, the computational tool used only for assistance during problem solving train straight helical double reduction, it means the user must have prior knowledge regarding the area of mechanical design, to obtain satisfactory results.

Using the computational tool can observe the graph of the pairs of gears in which you can verify the existence or non-interference in the system.

Keywords: computational tool, gear train, interference, graph.

Nomenclatura

Símbolo	Descripción	Unidades
m	Módulo	mm
Pd	Paso diametral	in
α	Ángulo de presión	°
a	Addendum	mm, in
b	Deddendum	mm, in
Pc	Paso circular	mm, in
Pb	Paso base	mm, in
Pot	Potencia	
Rt	Relación de transmisión	adimensional
Z	Línea de acción	mm, in
m_p	Razón de contacto	
N_p	Dientes del piñón	Dientes
N_g	Dientes del engrane	Dientes
D_{pp}	Diámetro de paso del piñón	mm, in
D_{ap}	Diámetro addendum del piñón	mm, in
D_{bp}	Diámetro base del piñón	mm, in
D_{dp}	Diámetro deddendum del piñón	mm, in
Vp	Velocidad angular del piñón	
P_{tp}	Par torsor del piñón	
D_{pg}	Diámetro de paso del engrane	mm, in
D_{ag}	Diámetro addendum del engrane	mm, in
D_{bg}	Diámetro base del engrane	mm, in
D_{dg}	Diámetro deddendum del engrane	mm, in
Vg	Velocidad angular del engrane	
P_{tg}	Par torsor del engrane	

Referencias Bibliográficas.

[1]. Norton L, Robert. (1999). “Diseño de Maquinas”. Primera edición. Prentice Hall.

[2]. Porras Soriano Andrés, Marcilla Goldaracena Ignacio, Porras Piedra Andrés, Engranajes. Editorial: Cátedra de Motores y Máquinas – UCLM, Año: 2001

[3]. Morales Carlos, (2006). Engranes y Tren de Engranes. Manual de Mecanismo.

[4]. Ramiro José, Alcázar Rico, Fernández Consuelo, (2007). “TREN: una ayuda para el estudio de los engranajes”. Madrid, España

[5]. Yépez Jesús, (2003). “Programa de computación para el diseño optimizado de engranajes cilíndricos rectos, cilíndricos helicoidales y cónicos”.

[6]. Ettore Pennestri, (2002). “Técnica sistemática para la deducción de las ecuaciones dinámicas de trenes de engranajes epicicloidales”.

[7]. Villasmil Antonio, (2000). “Programa de computación para el diseño de sistemas de transmisión flexibles”.

[8]. Rodríguez Richard, Albornoz Dennys, (1999). “Programa de computación para el diseño optimizado de ejes de sección circular maciza que soportan engranajes, poleas y ruedas dentadas”.

[9]. The Free Software Definition, http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html.

[10]. ¿Qué es HTML? http://www.aulaclic.es/html/t_1_1.htm

[11]. ¿Que es PHP?, http://php.net/manual/es/intro-whatis.php

[12]. ¿Qué es CSS?, http://www.w3c.es/divulgacion/guiasbreves/hojasestilo

[13]. Jonathan Chaffer, Karl Swedberg (2009) **Learning jQuery 1.3,** 1st edition, Packt Editorial.

[14]. ¿Qué es AJAX?, http://www.librosweb.es/ajax/capitulo1.html

[15]. Nielsen, J. Molich, R. Heuristic Evaluation of user interfaces. In Chi 90 Proceddings of SIGCHI conference on human factors in computing systems, New York, NY USA 1990, ACM Press.

CAPÍTULO 1
Introducción

1.1 Introducción

Los engranes sirven para transmitir par de torsión y velocidad angular en una amplia variedad de aplicaciones. El diseño de estos elementos se basa en el cumplimiento de la ley fundamental de los engranes. Los términos y definiciones presentados en este capítulo servirán como bases para el estudio tanto para los engranes como para los trenes de engranes. Así mismo, el glosario de términos presentado busca familiarizar al lector con los símbolos utilizados en las bibliografías que trabajan con el sistema americano (normas AGMA) o con el sistema internacional (normas ISO). [2]

1.2 Planteamiento del problema

Los sistemas de engranajes constituyen un eslabón fundamental en la red cinemática para la transmisión de potencia, tomando en consideración detalles fundamentales que deben ser tomados en cuenta al momento de diseñarlos.

Los engranajes cilíndricos de dientes rectos tienen como objetivo transmitir rotaciones entre ejes con una relación de velocidades angulares constante. Este objetivo se puede lograr también mediante otros dispositivos como correas, ruedas de fricción o mecanismos de barras articuladas, pero todos ellos tienen limitaciones. Por ejemplo, las correas y ruedas de fricción no pueden transmitir grandes potencias y los mecanismos de barras articuladas son aplicables solo en unos pocos casos concretos.

Los engranajes, en cambio, gozan de varias ventajas, son sencillos de construir, pueden transmitir grandes potencias y están normalizados. Por ello, son elementos muy utilizados en gran variedad de máquinas, como reductores, cajas de cambios, diferenciales, trenes de engranajes, etc.

El comportamiento cinemático está definido por medio de ecuaciones y cálculos el cual nos permite encontrar de una forma numérica su actuación. Por lo que es necesario como ayuda idónea la creación de una herramienta computacional para el docente y alumno puedan interactuar, visualizar y evaluar dicho comportamiento cinemático para el entendimiento de estos fenómenos, estudios de los mismos y lograr entender de manera didáctica su funcionamiento cinemático, teniendo en cuenta modificación de variables de diseño y comportamiento mecánico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Generar un material educativo computacional que permita el estudio cinemático de los engranajes cilíndricos de dientes rectos.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Establecer el mecanismo y clasificación adecuada del sistema de engranajes a estudiar, evaluando criterios de aplicación mecánica y didáctica del comportamiento cinemático.
2. Estudiar los criterios de diseño y parámetros que definan el diseño de los engranajes cilíndricos rectos.
3. Definir las ecuaciones para aclarar el comportamiento cinemático de los engranajes cilíndricos rectos.
4. Seleccionar el código computacional adecuado para la simulación del comportamiento mecánico.
5. Visualizar el programa del comportamiento cinemático del tren de engranajes.

1.4 Limitaciones

Este trabajo está enfocado a la aplicación e interacción didáctica docente-alumno por lo que se hace necesario para su aplicación y entendimiento solo estudiar el comportamiento cinemático de los engranajes cilíndricos teniendo en cuenta que para su diseño y actuación es requerido tener claro parámetros de diseño y cinemática del mecanismo engranaje.

1.5 Alcance

El diseño del material educativo tiene como alcance lograr visualizar cinemáticamente el comportamiento de un tren de engranajes cilíndricos

rectos de doble reducción, logrando obtener tabla de datos con su respectiva visualización de los pares de engranajes.

1.6 Justificación

La utilización de una herramienta computacional para el diseño de un tren de engranajes cilíndricos rectos, permite que el diseñador escoja la configuración más conveniente y pueda visualizar los pares de engranajes para predecir las características de movimiento del mecanismo, apoyando este el área educativa en el aprendizaje y dominio de las materias de diseño mecánico, permitiendo al estudiante tener visualmente una simulación con los resultados de las diferentes variables que puedan intervenir en el diseño.

1.7 Antecedentes preliminares

1. En el 2007 Ramiro José, Alcázar Rico, Fernández Consuelo, desarrollaron el programa “Tren” el cual implementa un lenguaje que permite diseñar trenes de engranajes con perfil de evolvente controlando todos los parámetros de las ruedas (módulo, addendum, deddendum, juego entre dientes, ángulo de presión), representarlos gráficamente y simular su funcionamiento manteniendo el contacto entre los dientes. Además realiza el cálculo de sus relaciones de transmisión y de contacto y detecta la aparición de interferencia entre dientes. Admite un funcionamiento interactivo o pre-programado mediante scripts. Ambos modos pueden alternarse dinámicamente

2. En el 2003, Yépez Jesús, presentó la realización de un programa de computación para el diseño optimizado de engranajes cilíndricos rectos, cilíndricos helicoidales y cónicos, desarrollando este sobre la plataforma de programación Visual Basic 6.0, a través de bibliografías especializadas entrelazadas con el lenguaje de programación logró parametrizar las curvas correspondientes a las constantes que intervienen en el diseño de engranajes, así como, producir el programa de computación de forma que sirviese de herramienta al proceso de cálculo.

3. En el 2002, Ettore Pennestri, desarrolló la aplicación de una técnica sistemática para la deducción de las ecuaciones dinámicas de trenes de engranajes epicicloidales. El uso del método propuesto es especialmente susceptible en conjunción con los procedimientos para el recuento automatizado de cadenas cinemáticas dirigidas. Los ejemplos descritos ilustran como el enfoque presentado puede ser extendido para el cálculo de la inercia equivalente de un tren de engranajes epicicloidales o para el análisis de estabilidad de trenes de engranajes.

4. En el 2000, Villasmil Antonio, desarrolló un programa de computación para el diseño de sistemas de transmisión flexibles: Correas y Cadenas este programa se desarrolló bajo la plataforma de Visual Basic 5.0, en el cual mediante una base de datos previamente recopilada logró obtener resultados que presentaban una gama de soluciones que se ajustaban a los datos especificados por el operador.

5. En 1999, Rodríguez Richard, Albornoz Dennys, desarrollaron un programa de computación para el diseño optimizado de ejes de

sección circular maciza que soportan engranajes, poleas y ruedas dentadas, logrando así eliminar sobre diseños innecesarios evaluando todos las secciones con todos los criterios de diseño de ejes.

CAPÍTULO 2
Marco Teórico

2.1 Ley fundamental de engranajes

El concepto general es que los dientes de cualquier forma evitarán deslizamientos extraordinario, lo cual nos lleva a la ley fundamental de los engranajes que dice que “la razón de velocidad angular entre los engranes de un engranaje (o tren de engranajes) debe mantenerse constante a través del acoplamiento, la razón de velocidad angular m_v, es igual a la razón del radio de paso del engrane de entrada, dividido entre el correspondiente del engrane de salida.

$$m_v = \frac{\omega_{salida}}{\omega_{entrada}} = \pm \frac{r_{entrada}}{r_{salida}} \tag{2.1}$$

La razón de par de torsión o ventaja mecánica m_A es la reciproca de la razón de velocidades m_v;

$$m_A = \frac{1}{m_v} = \frac{\omega_{entrada}}{\omega_{salida}} = \pm \frac{r_{salida}}{r_{entrada}} \tag{2.2}$$

Por lo tanto, un engranaje es un dispositivo que sirve para intercambiar potencia de torsión por velocidad, o viceversa, En cualquier

caso, por lo general es deseable mantener una razón constante entre engranes mientras giran.

Para efectos de cálculo, la razón de engranes m_G se toma como la magnitud, ya sea de la razón de velocidades o de la razón de par de torsión, cualquiera que esta sea $m_G > 1$.

$$m_G = |m_v| o\ m_G = |m_A|\ \ para\ m_G\ \geqslant 1 \qquad (2.3)$$

En otras palabras, la razón de engranes será siempre un número positivo > 1.

A fin de que resulte cierta la ley fundamental de los engranes, en dientes acoplados los contornos del diente el engrane deben ser los conjugados posibles, pero solo unas cuantas curvas han visto una aplicación práctica como dientes de engrane. La mayoría de los engranes tienen como forma la involuta de una circunferencia [1].

2.1.1 Involuta

La superficie involuta o envolvente se pude obtener desenrollando un trazador de un cilindro base. La curvatura trazada en la figura 2.1 genera una superficie en donde la normal en cada punto de la curva es siempre tangente a cilindro base. [2]

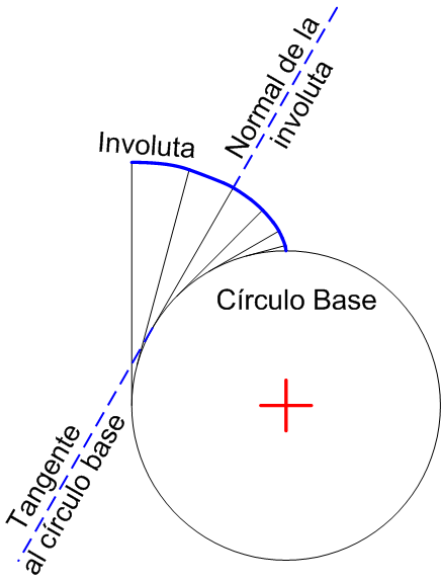

Figura 2.1. Curva involuta. (Fuente: Morales, 2006)

La figura 2.2 muestra dos involutas de cilindros separados en contacto, es decir, “acoplados”. Representan dientes de engrane. Los cilindros a partir de los cuales se producen las cuerdas se conocen como círculos base son necesariamente que los círculos de paso, que están en los radios de los cilindros originales de rodamiento, r_p y r_g. El diente del engrane debe proyectarse la vez por debajo y por encima de la superficie del cilindro de rodamiento (círculo de paso) y la involuta solo existe fuera del círculo base. La altura de diente que sobresale por encima del círculo de paso se conoce como la altura de la cabeza, que se muestra como a_p y a_g para el piñón y el engrane respectivamente. Estos son iguales para dientes estándar, de engranes de profundidad total.

Hay una tangente común, en ambas curvas de dientes involutos, en el punto de contacto, y una normal común, perpendicular a la tangente común. Se observa que la normal común coincide de hecho con las “cuerdas” de ambas involutas, que son colineales.

Por lo que la normal de paso común, que también es la línea de acción, pasa a través del punto de paso, independientemente de donde, en el acoplamiento, están ambos dientes en contacto. El punto de paso tiene la misma velocidad lineal, tanto en el piñón como en el engrane, y es conocida como la velocidad en la línea de paso. El ángulo entre la línea de acción y el vector de velocidad es el ángulo de presión Φ.

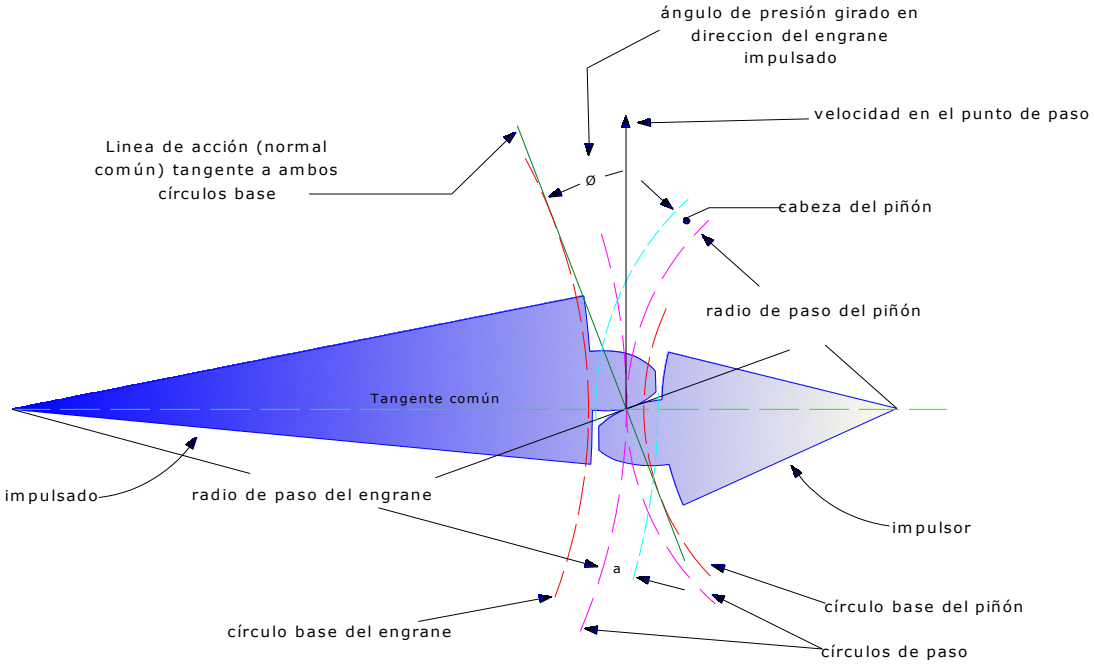

Figura 2.2 Geometría de contacto y ángulo de presión de dientes involutos. (Fuente: Norton 1999).

2.1.2 Ángulo de presión

El ángulo de presión Φ en un engranaje se define como el ángulo entre la línea de acción (normal común) y la dirección de la velocidad en el punto de paso, de manera que la línea de acción sea girada Φ grados en la dirección de rotación del engrane impulsado, según se observa en las figuras 2.2 y 2.3. Los ángulos de presión en los engranajes han sido normalizados a unos cuantos valores por los fabricantes de engranes. Estos se definen como

la distancia central nominal para el conjunto de engranes. Los valores estándar son 14.5º, 20ºy 25º siendo el de uso más común el de 20º y estando ya obsoletos los de 14.5º.

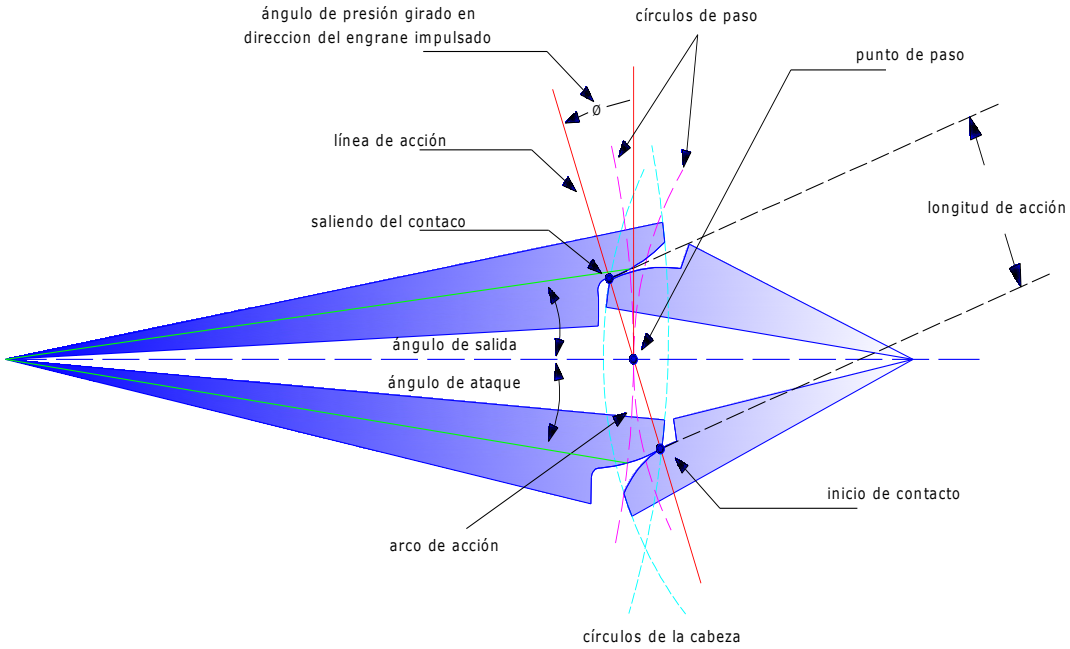

Figura 2.3. Longitud de acción, arco de acción y ángulos de ataque y salida durante el acoplamiento de un engrane y un piñón. (Fuente: Norton, 1999).

2.1.3 Geometría del acoplamiento

La figura 2.3 muestra un par de formas de diente involuto en dos posiciones, justo al principio del contacto y en el momento de desaparecer el contacto. Las normales comunes en ambos puntos de contacto siguen pasando a través del mismo punto de paso. Es esta propiedad de la involuta que hace que se obedezca la ley fundamental de los engranes. Conforme los dientes entran y salen de contacto de trabajo, se mantiene constante la razón del radio del engrane impulsor al radio del impulsado.

De esta observación sobre el comportamiento de la involuta podemos volver a enunciar la **Ley Fundamental de los Engranes** de una manera más formal desde el punto de vista de la cinemática, de la forma "*la normal común de los perfiles de los dientes, en todos los puntos de contacto dentro del acoplamiento, siempre deberán pasar a través de un punto fijo sobre la línea de centros, conocido como punto de paso*"[1]. La razón de velocidad del engranaje será entonces una constante, definida por la razón de los radios respectivos de los engranes en el punto de paso.

Los puntos de inicio y de terminación del contacto definen el acoplamiento (contacto de trabajo) del piñón y del engrane. La distancia a lo largo de la línea de acción entre estos dos puntos dentro del acoplamiento se conoce como longitud de acción Z, definida por las intersecciones de los círculos de la cabeza respectivos con la línea de acción, según se observa en la figura 2.3. La distancia a lo largo de la línea de paso dentro del acoplamiento es el arco de acción, y los ángulos de subtendidos entre este punto y la línea de centros son el ángulo de ataque y el ángulo de salida. En la figura 2.3 solo se ilustra para el engrane ya que para el piñón son similares los ángulos, el arco de acción tanto de los círculos de paso, del piñón y del engrane deben ser la misma longitud, para un cero deslizamiento entre los cilindros de rodamiento teóricos. La longitud de la acción Z se calcula a partir de la geometría del piñón:

$$Z = \sqrt{(r_p + a_p)^2 - (r_p Cos\Phi)^2} + \sqrt{(r_g + a_g)^2 - (r_g Cos\Phi)^2} - CSen\Phi \quad (2.4)$$

Donde r_p y r_g: Radio del circulo de paso del piñón y engrane, respectivamente, y a_p y a_g las alturas de cabeza de piñón y engrane, respectivamente. *C* es la distancia central y Φ es el ángulo de presión. [1]

2.2 Nomenclatura de los dientes de engrane

La figura 2.4 muestra dos dientes de un engrane que definen la nomenclatura estándar.

- Circulo de paso: Es la circunferencia de contacto entre los dientes que determina la relación de transmisión. El círculo de paso de dos engranajes son tangentes entre sí.
- Paso circular: Es la distancia medida sobre el círculo de paso entre un determinado punto de un diente y el punto correspondiente de un diente inmediato, las unidades de P_c son en pulgadas o milímetros. El paso circular se define de la siguiente manera;

$$P_C = \frac{\pi d}{N} \tag{2.5}$$

  Donde d = Diámetro de paso y N = número de dientes.

- Paso base: Se mide a lo largo de la circunferencia del círculo base y se define como:

$$P_b = P_c Cos\Phi \tag{2.6}$$

- Paso diametral: Número de dientes del engrane por pulgada de diámetro de paso, esta medida solo aplica únicamente en engranes de fabricación según norma AGMA.

$$P_d = \frac{N}{d} \tag{2.7}$$

$$P_d = \frac{\pi}{P_c} \tag{2.8}$$

- Módulo: Es el cociente del diámetro del círculo de paso y el número de dientes, las unidades del módulo es en milímetros.

$$m = \frac{d}{N} \tag{2.9}$$

- Addendum: Distancia radial medida desde el borde exterior del diente del engrane hasta el circulo de paso.
- Deddendum: Distancia radial desde el circulo de paso hasta el circulo base.
- Altura o profundidad total: es la suma del addendum más el deddendum.
- Tolerancia: es la diferencia entre el deddendum y addendum.
- Cara: Superficie lateral del diente limitada por el circulo de paso y la circunferencia del addendum.
- Flanco: Superficie lateral del diente limitada por el circulo de paso y la circunferencia del deddendum. [3]

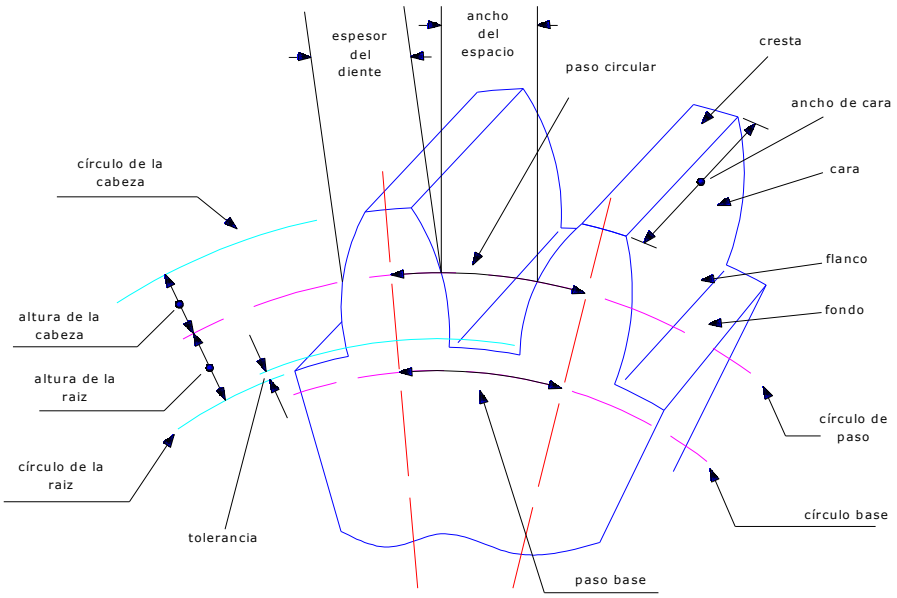

Figura 2.4. Nomenclatura de los dientes de engrane. (Fuente: Norton, 1999).

Los engranes métricos no son intercambiables con los engranes AGMA, a pesar de que ambos tienen formas de diente involutas, ya que son distintos los tamaños estándar de dientes, según la norma AGMA se

especifican los tamaños de los dientes de engranes en función del paso diametral, y en el caso del S.I. se especifican mediante el módulo, por lo tanto se tiene un método de conversión de un estándar a otro:

$$m = \frac{25.4}{P_d} \tag{2.10}$$

Ahora, La razón de velocidades m_v del engrane se puede expresar de una forma más practica sustituyendo la ecuación (2.7) en (2.1)

$$m_v = \pm \frac{r_{entrada}}{r_{salida}} = \pm \frac{d_{entrada}}{d_{salida}} = \pm \frac{N_{entrada}}{N_{salida}} \tag{2.11}$$

De ahí que la razón de velocidad se calcule a partir del número de dientes de engranes en acoplamiento, que son enteros, por su parte, la razón de engranes m_g se expresa como el número de dientes del engrane N_g sobre el número de dientes del piñón N_p.

$$m_G = \frac{N_G}{N_p} \tag{2.12}$$

2.2.1 Razón de contacto

La razón de contacto m_p define el número promedio de dientes en contacto en cualquier instante. Esto se calcula a partir de

$$m_p = \frac{Z}{P_b} \tag{2.13}$$

Donde Z es la longitud de la acción de la ecuación (2.4) y Pb es el paso base de la ecuación (2.6), sustituyendo las ecuaciones (2.6) y (2.8) en la ecuación (2.13) se definirá a m_p en función del paso diametral:

$$m_p = \frac{P_d Z}{\pi Cos\Phi} \tag{2.14}$$

Si la razón de contacto es igual a 1, entonces un diente termina el contacto justo en el instante que el siguiente lo inicia. Esto no es deseable, porque pequeños errores en espaciado del diente causaran oscilaciones en

velocidad, vibración y ruido. Además, la carga quedará aplicada sobre la punta del diente, lo que genera el momento a flexión sea compartida entre dientes. Para relaciones de contacto entre 1 y 2, comunes en el caso de engranes rectos, todavía quedaran momentos durante el acoplamiento donde un par de dientes tomará la totalidad de la carga. Esto, sin embargo, ocurrirá hacia el centro de la región de acoplamiento, donde la carga se aplica sobre una posición inferior dentro del diente, en vez de sobre su punta. Este punto se conoce como el punto más elevado de contacto de un solo diente. La razón mínima de contacto aceptable para una operación sin oscilaciones es 1.2 se prefieres una razón de contacto mínimo de 1.4, y cifras superiores son aun mejores. La mayor parte de los engranajes rectos tendrán relaciones de contacto entre 1,4 y 2. La ecuación (2.14) muestra que para dientes más pequeños (P_d mayor) y un ángulo de presión mayor, la razón de contacto también será mayor. [1]

2.3 Interferencia

La interferencia ocurre cuando se encuentran en contacto dos superficies de dientes que no son conjugadas (no se cumple la Ley Fundamental de Engranes) y como consecuencia se puede producir entre los engranes fluctuaciones de velocidad, impactos, socavación e inclusive atascamiento.

En el diseño adecuado de engranes se debe considerar o cuidar los siguientes aspectos básicos:

- La relación entre diámetros debe satisfacer la relación de transmisión requerida.

- El número de dientes que se determine a partir de ecuaciones debe ser entero (no redondeado).
- El paso diametral o módulo debe estar normalizado.
- El ángulo de presión debe estar normalizado. Si el diseño es nuevo la primera opción debe ser 20°.
- Se debe descartar una posible interferencia.
- La relación de contacto debe ser mayor a los parámetros recomendados ($m_p > 1,4$).

En engranajes cilíndricos rectos externos la interferencia ocurre cuando la línea de acción se extiende fuera de los puntos de tangencia de la línea de presión con los círculos bases. Ver figura 2.5.

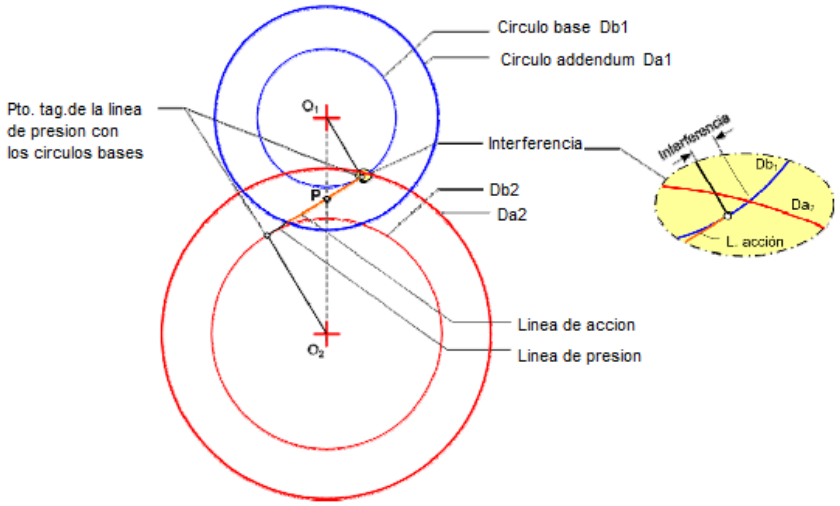

Figura 2.5. Contacto de engranes con interferencia. (Fuente: Morales, 2006).

Debido a la imposibilidad de extender la envolvente hacia el interior de círculo base (línea segmentada), en el área de interferencia (entre la línea de interferencia y la de rebaje) se produce la socavación del flanco. La opción de fabricar un rebaje en el flanco del diente, para evitar el contacto entre dos superficies no conjugadas, no suele ser conveniente ya que el mismo

requerirá una disminución del espesor del diente y por ende disminución de su resistencia. Ver figura 2.6.

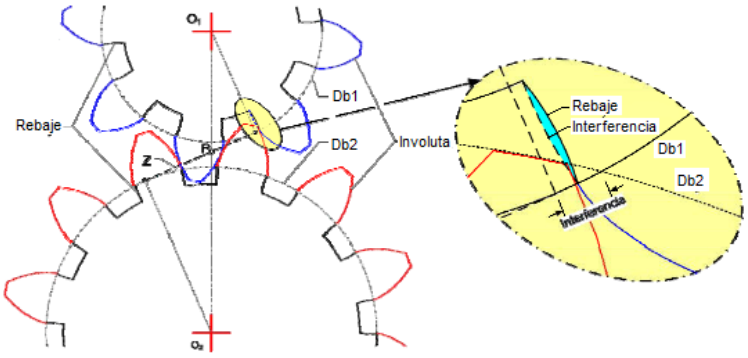

Figura 2.6. Socavado de engranes por interferencia. (Fuente: Morales, 2006).

Existen diferentes formas de diseñar engranes evitando la interferencia. La selección del método más idóneo depende de la disponibilidad de herramientas de fabricación; es decir, la disponibilidad herramientas de corte normalizadas o la fabricación específica de engranes. Entre los métodos que se emplean para eliminar las interferencias se destacan:

- Aumentar la distancia entre centros (aumento del ángulo de presión de operación)
- Aumentar el paso diametral (disminuir el addendum)
- Aumentar el diámetro del piñón
- Aumentar el ángulo de presión
- Fabricar engranes no estándar de addendum largo y corto

2.3.1 Aumentar la distancia entre centros

El incremento de la distancia entre centros tiene como objetivo aumentar el ángulo de presión de operación y con esto disminuir la interferencia. Esto se logra ya que los diámetros bases de cada engrane se

mantiene invariables, al igual que las secciones de los dientes y los círculos addendum y deddendum. Al aumentar la distancia entre dientes se generan nuevos círculos primitivos para la pareja de engranes. Ver figura 2.7.

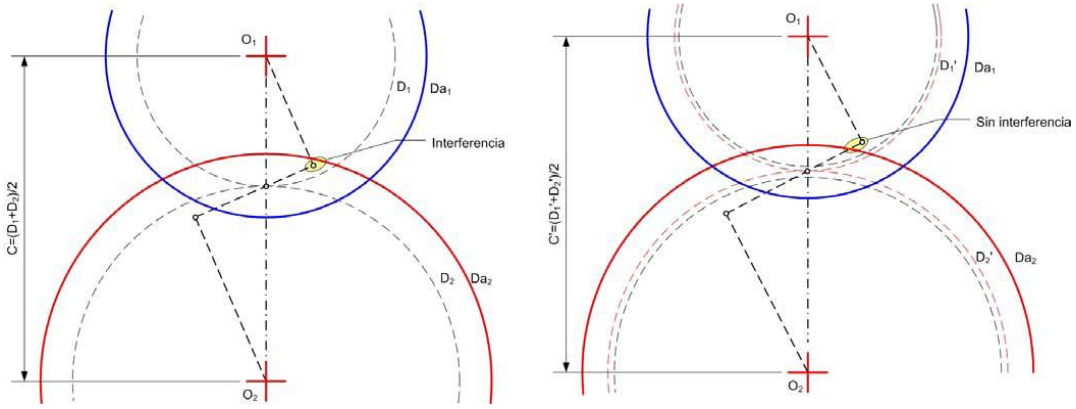

Figura 2.7. Aumento de distancia entre centros. (Fuente: Morales, 2006).

La limitante de esta práctica es que se incremente la separación entre los dientes y se disminuye la línea de acción. Ver figura 2.8.

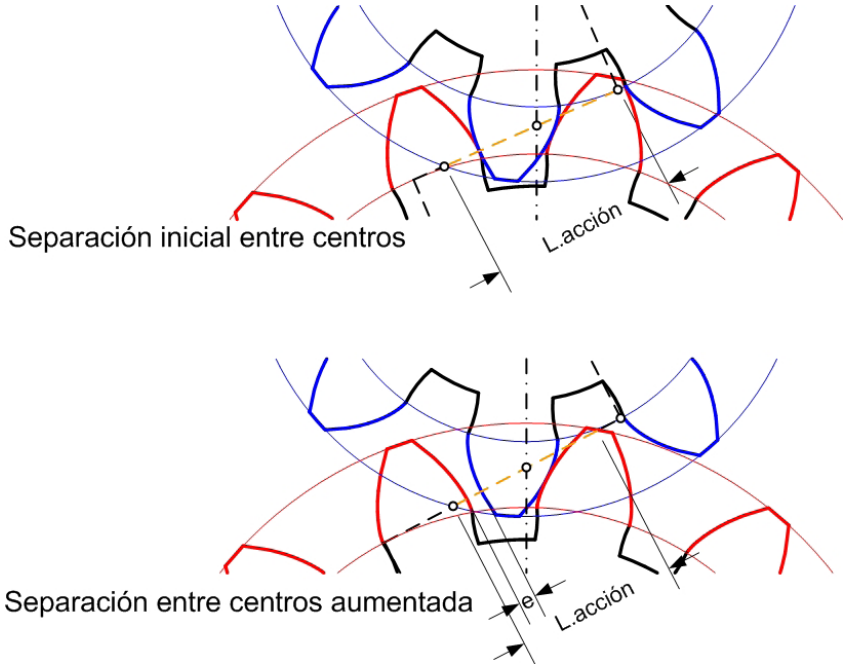

Figura 2.8. Separación entre dientes. (Fuente: Morales, 2006).

La separación entre los ejes es tolerable con la limitante que no es posible una inversión del sentido de giro de los engranes ya que éste puede ocasionar impactos no deseados entre los dientes. Aún cuando la razón de contacto pueda ser inferior a los valores recomendados (m_p > 1,4) su valor límites es de 1; es decir que la línea de acción sea igual al paso base.

2.3.2 Aumentar el paso diametral

En la fase de diseño y selección de engranes una de las opciones más viables para eliminar la interferencia consiste en la disminución del addendum o aumento del paso diametral. La disminución del addendum hasta la intercepción del círculo addendum con la línea de presión permite eliminar la interferencia sin modificar los diámetros de paso de los engranes o el ángulo de presión. Ver figura 2.9.

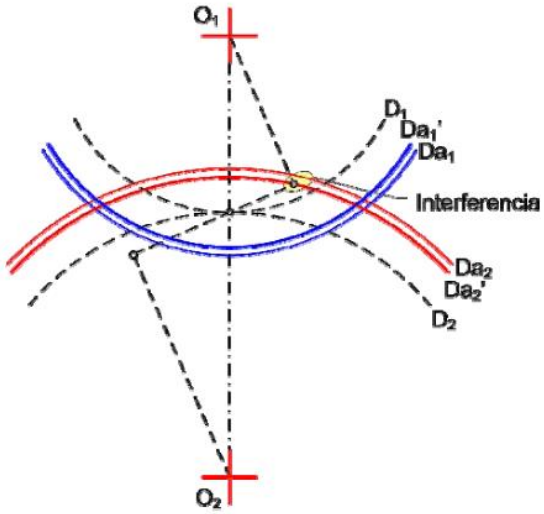

Figura 2.9. Aumento del paso diametral. (Fuente: Morales, 2006).

Al disminuir el addendum para pasar de un diámetro Da a un diámetro menor Da' se deben tomar en cuenta que el paso diametral debe estar normalizado (deseable por razones de costo) y que la cantidad de dientes que se deriven de los cálculos deben ser enteros y no aproximaciones. En el

caso que se obtenga una fracción del producto del paso diametral por el circulo de paso se debe adoptar como base de diseño la cantidad de dientes inmediatamente superior o incrementar el paso diametral hasta que el producto del Pd y el D de cómo resultado un número de dientes enteros para ambos engranes.

En diseños donde la relación de transmisión no requiere ser precisa, es viable ajustar el círculo de paso a partir del número de dientes y el paso diametral.

2.3.3 Aumentar el diámetro del piñón

El cambio del diámetro del piñón se presenta como una opción para el diseño cuando se tiene como restricción la disponibilidad de engranes, piezas prefabricadas, o la cantidad de herramientas de cortes para la fabricación de los engranes.

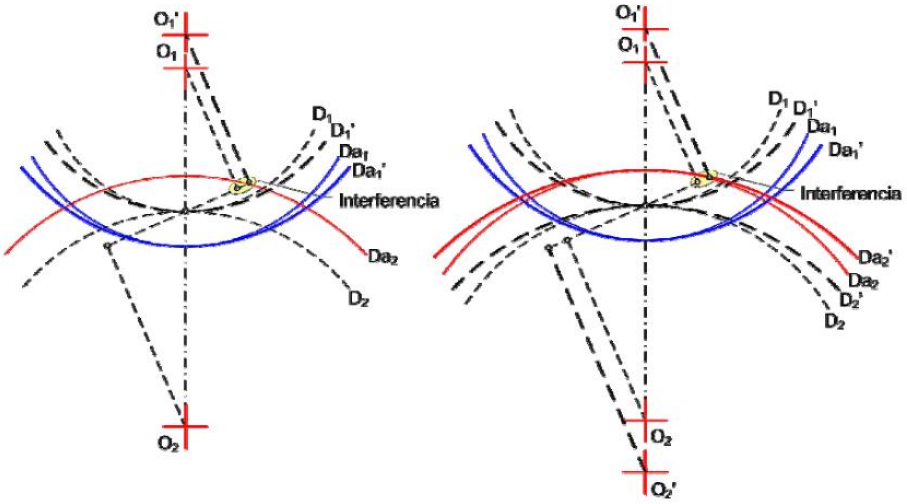

Figura 2.10. Aumento de diámetro del piñón. (Fuente: Morales, 2006).

Como se puede observar en la figura 2.10 en los casos donde existe interferencia la condición crítica se presenta en el punto de tangencia de la línea de presión con el círculo base del piñón. El incremento del diámetro de paso del piñón, manteniendo el ángulo de presión y el paso diametral,

permite aumentar la longitud de la línea de presión eliminando la interferencia. Esta solución al ser aplicada sólo al piñón afecta la relación de transmisión entre los engranes. De no ser posible admitir esta variación es necesario considerar el cambio de diámetro de ambos engranes.

Otro punto de atención es que los cambios implican aumento en la distancia entre ejes. Cuando se incrementa el diámetro de la rueda se debe verificar que el aumento del diámetro del círculo addendum no genere una nueva interferencia.

2.3.4 Aumentar el ángulo de presión

El incremento del ángulo de presión permite aumentar la longitud de la línea de presión sin modificar el paso diametral o los diámetros primitivos de los engranes. El efecto directo del ángulo de presión se aprecia en la disminución de los diámetros bases de los engranes. Ver figura 2.11.

La restricción de esta opción es que comercialmente sólo se utiliza 20° como ángulo de presión y con uso limitado 25°. La selección de un ángulo de presión no normalizado se aplicaría en diseños cítricos que ameriten la fabricación específica de la herramienta de corte.

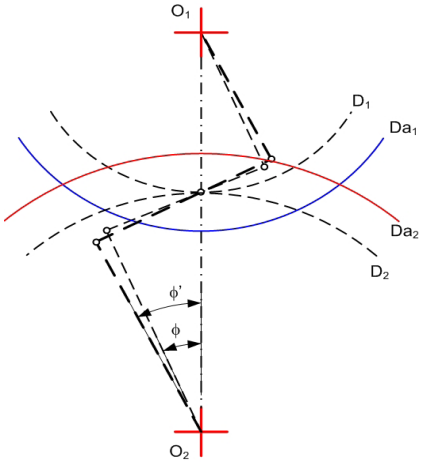

Figura 2.11. Aumento del ángulo de presión. (Fuente: Morales, 2006).

2.3.5 Engranes no convencionales de addendum largo y corto

Una de las maneras más idóneas de eliminar la interferencia es la designación particular del addendum del piñón y del engrane (rueda); el resultado es un par de engranes donde los addendum son distintos (Ver figura 2.12). El aumento del addendum del piñón debe ser proporcional a la disminución del addendum del engrane (rueda) y la altura total en ambos dientes debe ser igual. De acuerdo con la AGMA esta variación deben ser de ±25% ó ±50%, para ser considerados estándares.

Desde el punto de vista operacional esta opción es la mejor, ya que permite maximizar la relación de transmisión y mejorar el desempeño mecánico de los engranes. [2]

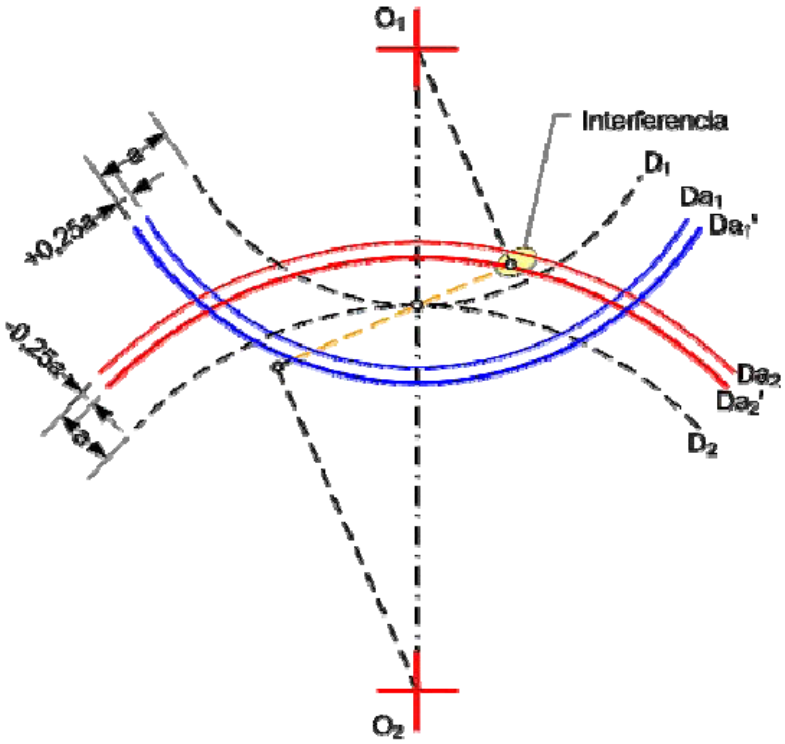

Figura 2.12. Addendum largo y corto. (Fuente: Morales, 2006).

2.4 Trenes de Engranes

Un tren de engranes es un conjunto de dos o más engranes acoplados. Un par de engranes, es decir, un engranaje, es por lo tanto la forma más simple de un tren de engranes y tienen como objetivo fundamental la transmisión del movimiento giratorio a partir del ensamble de sus dientes entres si, pudiendo existir en distintas formas de acuerdo a los tipos de engranes que estén involucrados en el tren.

Para cada tren de engranes debe existir una relación entre la velocidad de giro del eje de entrada (motriz) y la de salida (impulsado) denominada relación de transmisión.

$$R_T = \frac{\omega_{entrada}}{\omega_{salida}} \tag{2.15}$$

Siendo la velocidad en el punto de paso P igual para ambos engranes, y la relación de velocidades R_T inversamente proporcional a la relación de diámetros primitivos de los engranes.

$$R_T = \frac{\omega_{entrada}}{\omega_{salida}} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{V_P/R_1}{V_P/R_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

$$R_T = \frac{D_2}{D_1} \tag{2.16}$$

En vista de que los pasos diametrales (Pd) son iguales en las parejas de engranes, se tiene que la relación de velocidades R_T es inversamente proporcional a la relación de número de dientes de los engranes (N).

$$R_T = \frac{D_2}{D_1} = \frac{N_2/P_d}{N_1/P_d} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$R_T = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{N_2}{N_1} \tag{2.17}$$

Esta ultima ecuación no puede ser aplicada a engranes que no sean rectos, ya que la misma puede ser afectada por otros parámetros de diseño. En la mayoría de los casos los diseños de trenes de engranes están referidos a cajas reductoras; donde la velocidad de entrada es mayor que la de salida. La relación de transmisión para reductores es mayor que la unidad; $R_T > 1$.

CAPÍTULO 3
Marco Metodológico

3.1. Tipo de Investigación

En toda investigación su base fundamental se centra en establecer una metodología para que su desarrollo sea aceptable a los requerimientos de la misma. Para describir el diseño de una herramienta didáctica computacional para evaluar el comportamiento cinemático de un tren de engranajes cilíndricos rectos, se utilizó el tipo de investigación descriptiva y explicativa.

Según Sabino (1986), define la investigación descriptiva como:

> *"Su preocupación primordial radica en describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento. De esta forma se pueden obtener las notas que caracterizan a la realidad estudiada."*

Esta investigación se considera descriptiva debido a que se realiza la descripción de las características geométricas y cinemáticas fundamentales

de un tren de engranajes cilíndricos rectos a través de una herramienta didáctica computacional que permite el desarrollo y aplicación de las ecuaciones básicas pertinentes.

Según Sabino (1986), define la investigación explicativa como:

> *"Son aquellos trabajos donde nuestra preocupación se centra en determinar los orígenes o las causas de un determinado conjunto de fenómenos. Su objetivo, por lo tanto, es conocer por qué suceden ciertos hechos, analizando las relaciones causales existentes o, al menos, las condiciones en que ellos se producen."*

Así mismo, se considera de tipo explicativa ya que con el desarrollo de esta idea, se puede explicar el comportamiento cinemático de un tren de engranajes cilíndricos rectos y las causas de los efectos que produce mediante la manipulación de algunas de las variables utilizadas para su diseño.

3.2. Diseño de la Investigación

El diseño de este trabajo es de tipo experimental controlada, basándonos en la naturaleza de la investigación desarrollada y los objetivos planteados inicialmente.

Según Sabino (1986), define a un experimento como:

> *"Un experimento consiste en someter el objeto de estudio a la influencia de ciertas variables, en condiciones*

controladas y conocidas por el investigador, para observar los resultados que cada variable produce en el objeto".

Esta investigación es netamente explicativa y descriptiva, por cuanto su propósito es demostrar cómo afectan los cambios en la geometría y cinemática en un tren de engranajes cilíndricos rectos de doble reducción estableciendo con precisión una relación de causa-efecto. Por lo tanto, se somete a los elementos que constituyen a dicho tren de engranajes a determinadas condiciones, para observar los efectos que se producen.

Este trabajo se orienta según el cumplimiento a cabalidad de las siguientes etapas: la revisión bibliográfica de la Ley Fundamental de Engranes, la selección del lenguaje de programación, selección de normas para el diseño de engranajes, realización de la herramienta didáctica computacional para evaluar el comportamiento cinemático de un tren de engranajes cilíndricos rectos.

3.3 Diseño de etapas metodológicas de la investigación.

A continuación se presenta la metodología desarrollada por etapas para alcanzar cada uno de los objetivos propuestos de forma lógica y secuencial.

3.3.1 Etapa I. Investigación de aspectos teóricos.

- Consulta bibliográfica de diferentes autores con el objeto de presentar lo esencial referente al diseño de engranajes cilíndricos rectos para llevar a cabo la investigación.

3.3.2. Etapa II: Selección del mecanismo a desarrollar.

- Selección de mecanismo de engranajes cilíndricos rectos aplicados en un tren de doble reducción.
- Evaluación del comportamiento cinemático del mecanismo seleccionado considerando criterios de aplicación mecánica y didáctica.

3.3.3. Etapa III. Selección de Normas.

- Aplicación de las normas ISO y AGMA donde se definen las ecuaciones pertinentes al diseño y evaluación del comportamiento cinemático del mecanismo seleccionado.

3.3.4 Etapa IV. Elaboración de los algoritmos.

- Desarrollo del algoritmo para la recepción de datos.
- Desarrollo del algoritmo para el procesamiento de los datos
- Desarrollo del algoritmo para la impresión de resultados.

3.3.5 Etapa V. Desarrollo de la interfaz visual.

- Desarrollo de una interfaz que contemple: un ambiente amigable, atractiva visualmente, ordenada y práctica; tomando como referencia, sitios de internet de modo que el usuario pueda familiarizarse fácilmente.

3.3.6 Etapa VI. Desarrollo del código de programación.

- Selección del lenguaje de programación a ser utilizado.
- Codificación de algoritmos desarrollados e identificados en la Etapa IV.
- Interconexión de todos los algoritmos en una estructura principal.

3.3.7 Etapa VII. Validación del programa.

- Elaboración de problemas de engranajes de cilíndricos rectos con resolución escrita.
- Resolución de los problemas planteados anteriormente a través de la herramienta computacional.
- Realización de un análisis comparativo de resultados.
- Validación de los resultados suministrados por la herramienta computacional.

3.3.8 Etapa VIII. Elaboración del manual del usuario.

- Desarrollo del manual de usuario con un lenguaje técnico para una correcta utilización de la herramienta computacional.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Se aplicará la documentación directa con el lenguaje de programación para lo cual se hace necesario el adiestramiento por medio de cursos especializados y al mismo tiempo, se requerirá una comprensión teórica sobre diseño de engranajes cilíndricos rectos, de tal manera que se pueda realizar la resolución escrita de problemas.

3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Las variables involucradas en el estudio se modelarán por las ecuaciones o expresiones matemáticas establecidas en el marco teórico, para ello se empleará la programación orientada a objetos y a interfaces gráficas, lo que constituye actualmente la tendencia de diversos lenguajes de programación por la facilidad de comprensión y manejo de datos.

3.6 Aspectos administrativos.

En este punto se exponen los recursos necesarios para la realización del trabajo, tanto humanos como materiales.

3.6.1 Recursos materiales.

- Una computadora.
- Lenguaje de programación HTML, PHP, CSS. JavaScript, Jquery
- Fuentes Bibliográficas.
- Artículos generales de oficina.

3.6.2 Recursos humanos.

- Autores del presente trabajo.
- Tutor del presente trabajo.

CAPÍTULO 4
Programas y Lenguajes

4.1 Introducción

A continuación se definen los conceptos acerca de cada uno de los programas y lenguajes usados, además lo que abarca el software libre y las licencias de este.

4.2 Software Libre

Se refiere a la libertad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar el software. De modo más preciso, se refiere a cuatro libertades de los usuarios del software:

- La libertad de usar el programa, con cualquier propósito (libertad 0).
- La libertad de estudiar cómo funciona el programa, y adaptarlo a sus necesidades (libertad 1). El acceso al código fuente es una condición previa para esto.
- La libertad de distribuir copias, con lo que puedes ayudar a tu vecino (libertad 2).

- La libertad de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras a los demás, de modo que toda la comunidad se beneficie. (libertad 3) El acceso al código fuente es un requisito previo para esto.

Un programa es software libre si los usuarios tienen todas estas libertades. Así pues, se debería tener la libertad de distribuir copias, sea con o sin modificaciones, sea gratis o cobrando una cantidad por la distribución, a cualquiera y a cualquier lugar. El ser libre de hacer esto significa (entre otras cosas) que no tienes que pedir o pagar permisos.

También se debe tener la libertad de hacer modificaciones y utilizarlas de manera privada, sin ni siquiera tener que anunciar que dichas modificaciones existen. Si se publican los cambios, no se tiene por qué avisar a nadie en particular, ni de ninguna manera en particular.

La libertad para usar un programa significa la libertad para cualquier persona u organización de usarlo en cualquier tipo de sistema informático, para cualquier clase de trabajo, y sin tener obligación de comunicárselo al desarrollador o a alguna otra entidad específica.

Para que las libertades de hacer modificaciones y de publicar versiones mejoradas tengan sentido, se debe tener acceso al código fuente del programa. Por lo tanto, la posibilidad de acceder al código fuente es una condición necesaria para el software libre.

Para que estas libertades sean reales, deben ser irrevocables mientras no se haga nada incorrecto; si el desarrollador del software tiene el poder de revocar la licencia aunque no se le hayan dado motivos, el software no es libre.

Son aceptables, sin embargo, ciertos tipos de reglas sobre la manera de distribuir software libre, mientras no entren en conflicto con las libertades centrales. Por ejemplo, copyleft es la regla que implica que, cuando se redistribuya el programa, no se pueden agregar restricciones para denegar a otras personas las libertades centrales. Esta regla no entra en conflicto con las libertades centrales, sino que más bien las protege.

“Software libre” no significa “no comercial”. Un programa libre debe estar disponible para uso comercial, desarrollo comercial y distribución comercial. El desarrollo comercial del software libre ha dejado de ser inusual; el software comercial libre es muy importante.

Pero el software libre sin “copyleft” también existe. Hay razones importantes por las que es mejor usar “copyleft”, pero si los programas son software libre sin ser “copyleft”, se pueden utilizar de todos modos.

Cuando se habla de software libre, es mejor evitar términos como: “regalar” o “gratis”, porque esos términos implican que lo importante es el precio, y no la libertad. [9]

4.3 NetBeans IDE

NetBeans IDE es un entorno de desarrollo integrado (IDE) modular y basado en estándares, escrito con el lenguaje de programación Java, NetBeans consta de un IDE de código abierto con gran variedad de funciones escrito con el lenguaje de programación Java y una plataforma para aplicaciones de cliente enriquecidas que se puede utilizar como marco genérico para crear cualquier tipo de aplicación.

Este trabaja en Windows, Mac, Linux y Solaris. El proyecto de NetBeans está formado por un IDE de código abierto y una plataforma de

aplicación que permite a los desarrolladores crear con rapidez aplicaciones web, empresariales, de escritorio y móviles utilizando la plataforma Java, así como Html, JavaFX, PHP, JavaScript y Ajax, CSS Ruby y Ruby on Rails, Groovy and Grails y C/C++.

La plataforma NetBeans permite que las aplicaciones sean desarrolladas a partir de un conjunto de componentes de software llamados módulos. Un módulo es un archivo Java que contiene clases de java escritas para interactuar con las APIs de NetBeans y un archivo especial que lo identifica como módulo. Las aplicaciones construidas a partir de módulos pueden ser extendidas agregándole nuevos módulos. Debido a que los módulos pueden ser desarrollados independientemente, las aplicaciones basadas en la plataforma NetBeans pueden ser extendidas fácilmente por otros desarrolladores de software.

4.3.1 Interfaz de trabajo de NetBeans

La interfaz de trabajo de Netbeans es similar a cualquier interfaz típica de un programa bajo ambiente Windows el cual está constituida por:

1. Barra de herramientas: componente de la interfaz gráfica del usuario mostrada en la parte superior de la pantalla en el cual se despliega un menú al seleccionar una opción de la barra de herramientas, además contiene un bloque de iconos o botones los cuales son los más utilizados en el programa, este bloque es completamente editable. (Ver figura 4.1)

2. Explorador de archivos: En esta zona se muestra el contenido del directorio local. (Ver figura 4.1)

3. Pestañas de navegación: Esta zona permite la navegación entre los diferentes proyectos que se encuentren abiertos, para poder visualizarlos en el área de trabajo. (Ver figura 4.1)

4. Área de trabajo: Es la zona principal del programa es donde se visualiza el código de programación que está siendo realizado o editado por el programador. (Ver figura 4.1)

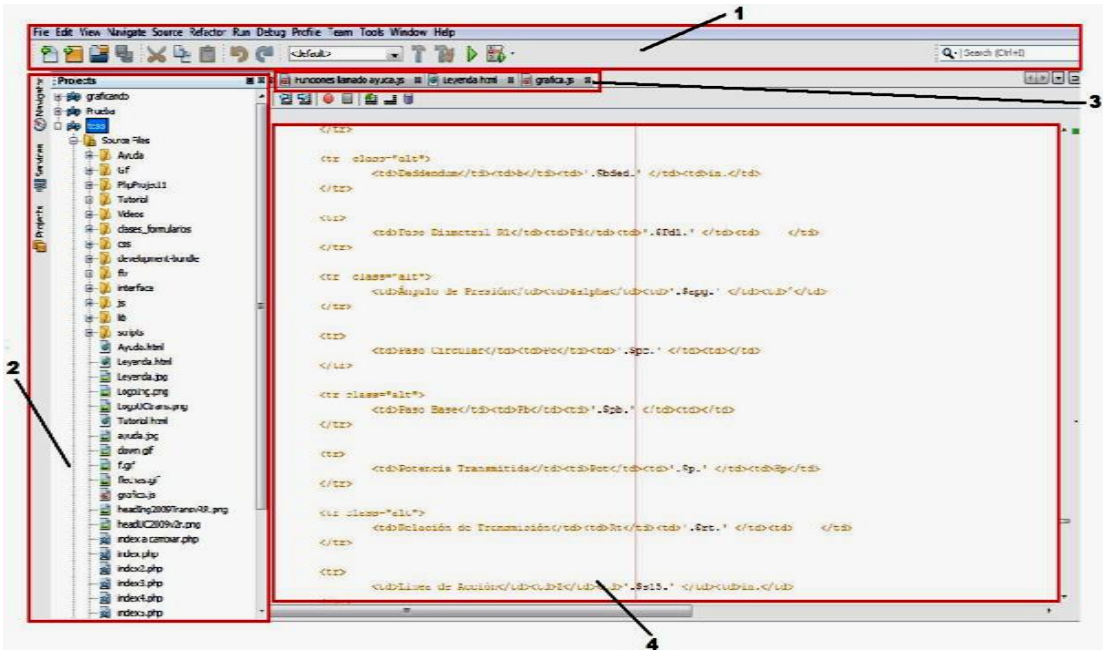

Figura 4.1. Interfaz de NetBeans. (Fuente: Propia)

4.4 Html

El HTML (HyperText Markup Language) es el lenguaje con el que se escriben las páginas web. Es un lenguaje de hipertexto, es decir, un lenguaje que permite escribir texto de forma estructurada, y que está compuesto por etiquetas, que marcan el inicio y el fin de cada elemento del documento.

Un documento hipertexto no sólo se compone de texto, puede contener imágenes, sonido, vídeos, etc., por lo que el resultado puede considerarse como un documento multimedia.

Los documentos HTML deben tener la extensión html o htm, para que puedan ser visualizados en los navegadores. Estos se encargan de interpretar el código HTML de los documentos, y de mostrar a los usuarios las páginas web resultantes del código interpretado. [10]

```
<html>
  <head>
    <title>HTML</title>
    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8">
  </head>
  <body>

    Aqui se coloca el codigo HTML en el cual se siguen las normas del lenguaje.

  </body>
</html>
```

Figura 4.2. Líneas de código en HTML. (Fuente: Propia)

4.5 Php

PHP (Hypertext Preprocessor) es un lenguaje de código abierto especialmente adecuado para desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML.

Lo que distingue a PHP es que el código es ejecutado en el servidor, generando HTML y enviándolo al cliente. El cliente recibirá los resultados de ejecutar el script, sin ninguna posibilidad de determinar qué código ha producido el resultado recibido. El servidor web puede ser incluso configurado para que procese todos los archivos HTML con PHP y entonces no hay manera que los usuarios puedan saber que se tiene debajo.

Lo mejor de usar PHP es que es extremadamente simple para el principiante, pero a su vez, ofrece muchas características avanzadas para los programadores profesionales. [11]

```
<html>
  <head>
    <title>HTML</title>
    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8">
  </head>
  <body>

      <?php

            Echo "Aqui se coloca el codigo en PHP en el cual
            se siguen las normas del lenguaje."

      ?>
  </body>
</html>
```

Figura 4.3. Líneas de código en PHP. (Fuente: Propia)

4.6 Css

Hojas de Estilo en Cascada (Cascading Style Sheets), es un mecanismo simple que describe cómo se va a mostrar un documento en la pantalla, o cómo se va a imprimir, o incluso cómo va a ser pronunciada la información presente en ese documento a través de un dispositivo de lectura. Esta forma de descripción de estilos ofrece a los desarrolladores el control total sobre estilo y formato de sus documentos.

CSS se utiliza para dar estilo a documentos HTML y XML, separando el contenido de la presentación. Los Estilos definen la forma de mostrar los elementos HTML y XML. CSS permite a los desarrolladores Web controlar el estilo y el formato de múltiples páginas Web al mismo tiempo. Cualquier cambio en el estilo marcado para un elemento en la CSS afectará a todas las páginas vinculadas a esa CSS en las que aparezca ese elemento.

CSS funciona a base de reglas, es decir, declaraciones sobre el estilo de uno o más elementos. Las hojas de estilo están compuestas por una o más de esas reglas aplicadas a un documento HTML o XML. La regla tiene

dos partes: un selector y la declaración. A su vez la declaración está compuesta por una propiedad y el valor que se le asigne.

El selector funciona como enlace entre el documento y el estilo, especificando los elementos que se van a ver afectados por esa declaración. La declaración es la parte de la regla que establece cuál será el efecto. [12]

```
#gradient-style td

{
        padding: 8px;
        border: 1px solid #848484;
        color: #669;
        background: #e8edff;/* url('table-images/gradback.png') repeat-x;*/
}

#gradient-style tfoot tr td

{
        background: #e8edff;
        font-size: 12px;
        color: #99c;
}

#gradient-style tbody tr:hover td

{
        background: #d0dafd url('table-images/gradhover.png') repeat-x;
        color: #339;

}
```

Figura 4.4. Líneas de código en CSS. (Fuente: Propia)

4.7 Javascript

JavaScript es un lenguaje de programación que se utiliza principalmente para crear páginas web dinámicas.

Una página web dinámica es aquella que incorpora efectos como texto que aparece y desaparece, animaciones, acciones que se activan al pulsar botones y ventanas con mensajes de aviso al usuario.

Técnicamente, JavaScript es un lenguaje de programación interpretado, por lo que no es necesario compilar los programas para

ejecutarlos. En otras palabras, los programas escritos con JavaScript se pueden probar directamente en cualquier navegador sin necesidad de procesos intermedios.

```
91  function circun(h,k,r,t) {
92          var transparencia = 0.3;
                ctx.beginPath();
94
95          switch (t) {
                case 0:
                        ctx.strokeStyle = "red";
                        ctx.fillStyle='rgba(255,0,0,'+transparencia+')';
                        break;
100             case 1:
                        ctx.strokeStyle = "blue";
                        ctx.fillStyle='rgba(0,255,0,'+transparencia+')';
                        break;
104             case 2:
                        ctx.strokeStyle = "black";
                        ctx.fillStyle='rgba(0,0,0,'+transparencia+')';
                        break;
108
109         }
110
            ctx.arc(h, k, r, 0, Math.PI*2, true);
112
            ctx.closePath();
114             if (solidEngines) {
                ctx.fill();
116         } else {
                ctx.stroke();
118         }
119
120 }
```

Figura 4.5. Líneas de código en JavaScript. (Fuente: Propia)

4.8 Jquery

jQuery es un framework Javascript, es un producto que sirve como base para la programación avanzada de aplicaciones, que aporta una serie de funciones o códigos para realizar tareas habituales. Por decirlo de otra manera, framework son unas librerías de código que contienen procesos o

rutinas ya listos para usar. Los programadores utilizan los frameworks para no tener que desarrollar ellos mismos las tareas más básicas, puesto que en el propio framework ya hay implementaciones que están probadas, funcionan y no se necesitan volver a programar.

jQuery es un framework para el lenguaje Javascript, el cual es un producto que simplifica de una manera considerable programar en este lenguaje.

Este framework Javascript, nos ofrece una infraestructura con la que tendremos mucha mayor facilidad para la creación de aplicaciones complejas del lado del cliente. Por ejemplo, con jQuery obtendremos ayuda en la creación de interfaces de usuario, efectos dinámicos, aplicaciones que hacen uso de Ajax, etc. Cuando programemos Javascript con jQuery tendremos a nuestra disposición una interfaz para programación que nos permitirá hacer cosas con el navegador que estemos seguros que funcionarán para todos nuestros visitantes. Simplemente debemos conocer las librerías del framework y programar utilizando las clases, sus propiedades y métodos para la consecución de nuestros objetivos. [13]

4.9 Ajax

Ajax no es una tecnología en sí mismo. En realidad, se trata de varias tecnologías independientes que se unen de formas nuevas y sorprendentes.

Las tecnologías que forman AJAX son:

- XHTML y CSS, para crear una presentación basada en estándares.
- DOM, para la interacción y manipulación dinámica de la presentación.
- XML, XSLT y JSON, para el intercambio y la manipulación de información.

- XMLHttpRequest, para el intercambio asíncrono de información.
- JavaScript, para unir todas las demás tecnologías.

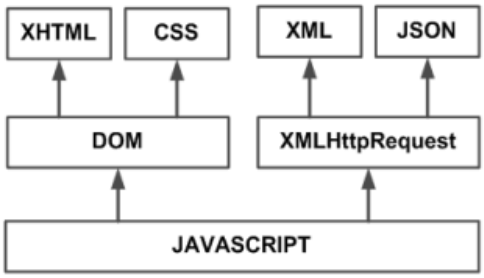

Figura 4.6. Tecnologías agrupadas bajo el concepto de AJAX. (Fuente: Librosweb)

Desarrollar aplicaciones AJAX requiere un conocimiento avanzado de todas y cada una de las tecnologías anteriores.

En las aplicaciones web tradicionales, las acciones del usuario en la página (pinchar en un botón, seleccionar un valor de una lista, etc.) desencadenan llamadas al servidor. Una vez procesada la petición del usuario, el servidor devuelve una nueva página HTML al navegador del usuario.

En el siguiente esquema, la imagen de la izquierda muestra el modelo tradicional de las aplicaciones web. La imagen de la derecha muestra el nuevo modelo propuesto por AJAX:

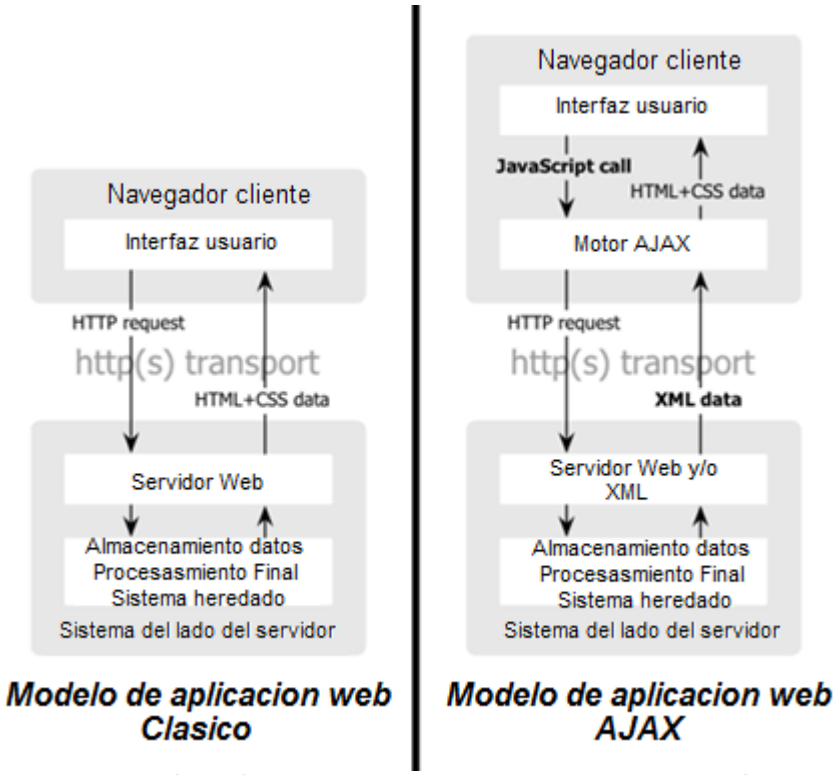

Figura 4.7. Comparación gráfica del modelo tradicional de aplicación web y del nuevo modelo propuesto por AJAX. (Fuente: Adaptive Path)

Esta técnica tradicional para crear aplicaciones web funciona correctamente, pero no crea una buena sensación al usuario. Al realizar peticiones continuas al servidor, el usuario debe esperar a que se recargue la página con los cambios solicitados. Si la aplicación debe realizar peticiones continuas, su uso se convierte en algo molesto

AJAX permite mejorar completamente la interacción del usuario con la aplicación, evitando las recargas constantes de la página, ya que el intercambio de información con el servidor se produce en un segundo plano.

Las aplicaciones construidas con AJAX eliminan la recarga constante de páginas mediante la creación de un elemento intermedio entre el usuario y el servidor. La nueva capa intermedia de AJAX mejora la respuesta de la

aplicación, ya que el usuario nunca se encuentra con una ventana del navegador vacía esperando la respuesta del servidor. [14]

A continuación se muestra una lista de algunas de las aplicaciones más conocidas basadas en AJAX:

- Gestores de correo electrónico: Gmail, Yahoo Mail, Windows Live Mail.
- Cartografía: Google Maps, Yahoo Maps, Windows Live Local.
- Aplicaciones web y productividad: Google Docs, Zimbra, Zoho.

CAPÍTULO 6
Evaluación del Software

6.1 Introducción

El procedimiento heurístico, en general, puede ser descrito como el proceso en el que se detectan problemas relacionados con el uso de un sistema interactivo a partir de una serie de reglas (heurísticas) previamente determinadas. Hoy en día, en el contexto de evaluación de la usabilidad de los sistemas interactivos, la técnica de evaluación heurística está muy extendida y su realización es común, no obstante y paradójicamente, lo que no es tan fácil de encontrar es la forma de analizar exhaustiva y rigurosamente los resultados obtenidos mediante esta técnica.

6.2 Evaluación Heurística

La evaluación heurística, desarrollada por NIELSEN y MOLICH en 1990 , es una técnica de evaluación de la usabilidad por inspección y se efectúa principalmente por evaluadores (los estudios de Nielsen muestran que un número de entre 3 y 5 evaluadores es suficiente) a partir de unos principios establecidos por la disciplina de la Interacción Persona Ordenador (IPO), coloquialmente conocido como la heurística, detecta aproximadamente

el 42% de los problemas graves de diseño y el 32% de los problemas menores, dependiendo del número de evaluadores que revisen el sitio.

Para realizar una evaluación heurística eficiente y que permita obtener unos resultados de calidad deben seguirse las siguientes fases [14]:

1. Entrenamiento previo: el evaluador debe familiarizarse con la interfaz durante unos minutos para conocer la web y poder realizar la evaluación heurística de manera ágil.

2. Evaluación: el evaluador sigue el conjunto de heurísticas para encontrar deficiencias a la web o catalogarla como usable. Puede anotar observaciones.

3. Puntuar la severidad: se debe determinar la severidad de cada uno de los problemas encontrados. Por ello es conveniente ofrecerles que puntúen la importancia de los problemas. En principio se sugieren tres parámetros generales:

   Frecuencia con la que ocurren los problemas, *impacto* del problema, si los usuarios se verán muy afectados en cuando ocurra esto, y *persistencia* del problema. ¿Es un problema que sólo ocurrirá una vez o los usuarios estarán constantemente chocando con ese problema?

   Los problemas en cada parámetro pueden puntuarse según la escala de 0 (no es un problema de usabilidad) a 5 (catástrofe: es obligatorio arreglarlo).

4. Revisión: Se trata de analizar cada una de las evaluaciones realizadas para presentar un informe con todos los problemas y las posibles resoluciones, teniendo en cuenta que el análisis obtenido es cualitativo.

6.3 Principios de diseño web

Jackob Nielsen definió 10 principios para el diseño de las interfaces web:

6.3.1 Informar acerca del estado del sistema

El sitio debe mantener siempre informado al usuario acerca de lo que está sucediendo. Por ejemplo, si el usuario envía un mensaje a través de un formulario, el sitio debe informarle si este se envió con éxito.

En la aplicación web desarrollada en todo momento se tiene al usuario informado, siempre se muestra mediante títulos en la página alertas de estado, los cuales informa al usuario lo ocurrido.

Figura 6.1. Alerta de selección de norma. (Fuente: propia)

6.3.2 Hablar el lenguaje del usuario

El contenido del sitio debe utilizar el mismo lenguaje del usuario. Todas las palabras y frases que se utilicen de resultar familiares a los usuarios. Por ejemplo, mensajes de error incomprensibles deben ser omitidos.

La aplicación web está desarrollada particularmente hacia el área de ingeniería, el lenguaje hablado en esta debe ser entendido por cualquier persona con un conocimiento intermedio acerca de los engranes y trenes de engranajes ya que el lenguaje usado es consistente y normalizado, cualquier mensaje mostrado en el sistema puede ser interpretado por las personas sin necesariamente tener conocimiento en el área.

Figura 6.2. Lenguaje utilizado en el programa. (Fuente: propia)

6.3.3 Libertad y control para el usuario

Todo sitio web debe hacer sentir al usuario que tiene el completo control y libertad. Si el usuario comete un error debe existir una forma de volver atrás.

El usuario tiene libertad total en la aplicación web ya que en esta se siempre se puede reiniciar en caso de cometer un error se puede volver a iniciar sin ningún problema, además debido a que es una aplicación web el usuario siempre puede ir hacia la página anterior, como se hace en cualquier pagina web.

6.3.4 Consistencia y Estándares

Los usuarios no deberían pensar que diferentes palabras, situaciones o acciones significarán diferentes cosas. Por ejemplo, un enlace “ayuda” debiera apuntar a una sección “ayuda” y no “preguntas frecuentes”. En relación al diseño por ejemplo, todos los enlaces debieran ser del mismo color.

En todo momento se siguió el estándar de las normas ISO y AGMA en la aplicación web el usuario no debería confundir ningún término, ya que se mantiene total consistencia en todo el desarrollo de la aplicación.

6.3.5 Prevención de errores

Mucho mejor que los buenos mensajes de error, es un diseño cuidado que prevenga que ocurran éstos. Por ejemplo, utilizar sistemas de validación

antes de que el usuario envíe su información y deba volver atrás para corregir.

Como se expresa en este apartado en todo momento se uso la validación de formularios en la aplicación permitiendo así al usuario evitar ingresar datos erróneos. (Ver figura 6.2)

Figura 6.2. Validaciones de la aplicación. (Fuente: propia)

Se puede apreciar en la figura 6.2 que el usuario no puede continuar en la aplicación web, sin antes seleccionar los campos de módulo, si introduce una letra en un campo numérico el usuario será informado acerca

de este error y no podrá continuar hasta que se arreglado, igualmente tampoco se le permite avanzar si introduce un numero de dientes del piñon menor que el del engrane, es decir se cumple a cabalidad con este enfoque dado por Nielsen, siempre se trata de evitar el error del usuario.

6.3.6 Es mejor reconocer, que recordar

Los objetos, acciones y opciones deben ser visibles para el usuario, él no tiene que recordar donde estaban las cosas. Por ejemplo, una buena arquitectura de la información, contenidos con títulos claros ayudan a que el usuario no se pierda.

El usuario siempre mantiene a su disposición la visualización de la información a través de las pestañas en la parte superior de la aplicación.

Parámetros Generales de R1			
Addendum	a	1.5	mm.
Deddendum	b	1.875	mm.
Módulo	m	1.5	mm.
Ángulo de Presión	α	20	°
Paso Circular	Pc	4.7123889803	mm.
Paso Base	Pb	4.4281971510	mm.
Potencia Transmitida	Pot	20	W.
Relación de Transmisión	Rt	1.0000000000	
Linea de Acción	Z	6.3874368454	mm.
Razón de Contacto	mp	1.4424463562	
Parámetros del Piñón			
Número de Dientes del Piñón	Np	13	Dientes.
Diámetro de Paso Piñón	Dpp	19.5	mm.
Diámetro Addendum Piñón	Dap	22.5000000000	mm.
Diámetro Base Piñón	Dbp	18.3240061053	mm.
Diámetro Dedendum Piñón	Ddp	15.7500000000	mm.
Velocidad Angular del Piñón	Vp	200	rad/s.
Par Torsor del Piñón	Ptp	0.1000000000	Nm.

Figura 6.3. Visualización permanente de la información. (Fuente: propia)

6.3.7 Flexibilidad y uso eficiente

Los bookmarks o favoritos por ejemplo, si bien los usuarios principiantes no suelen utilizarlos, son muy utilizados por los más avanzados. El sitio debe ser fácil de agregar a una lista de favoritos, esto se logra evitando el uso de frames y utilizando nombres de archivos que no caduquen.

El desarrollo de la aplicación web fue pensado en permitir al usuario agregar a favoritos la aplicación, además de que no importe en que pagina de la aplicación se encuentre, al agregarla a favoritos siempre va a ser redirigido hacia la pagina inicial.

6.3.8 Diseño práctico y simple

No debe existir información irrelevante en el sitio web. La información irrelevante compite con la información relevante, disminuyendo su visibilidad. El contenido del sitio debe estar escrito para la web y no ser un simple copiar y pegar de algún folleto de la empresa.

El diseño de la aplicación web es lo mas intuitivo posible siempre tratando de que el usuario intervenga lo estrictamente necesario para realizar el proceso de cálculo, se llevo la aplicación de una manera lineal para que el usuario no tenga que dudar al momento de realizar el proceso de cálculo.

6.3.9 Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores

Los mensajes de error que puedan aparecer en su sitio web deben ser expresados en un lenguaje plano (sin códigos), explicando el problema y sugiriendo una solución.

6.3.10 Ayuda y documentación

Si bien lo ideal es que un sitio pueda ser navegado sin necesidad de ayuda, existen aplicaciones complejas que deben contar con asistencia. Por ejemplo, en el caso de un sitio comercial, un banco o con herramientas novedosas que puedan inducir a confusión, es importante tener la ayuda integrada al contenido del sitio.

En todo momento se tiene la barra de ayuda en la aplicación, así como la del tutorial, además se cuenta con una ayuda individual cualquier pantalla que se encuentre el usuario en la aplicación (Ver figura 6.4), al lado de cada formulario (Ver figura 6.5) y también al pasar el cursor sobre el botón de ayuda al lado del formulario (Ver figura 6.6) de esta manera el usuario tiene ayuda permanentemente en la aplicación a su disposición.

Figura 6.4. Ayuda en la barra de herramientas. (Fuente: propia)

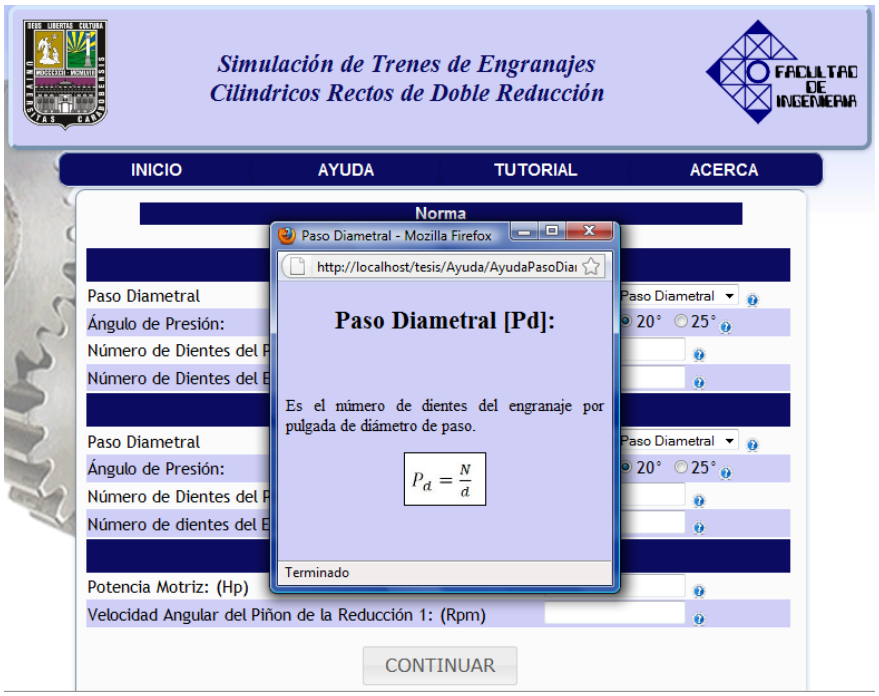

Figura 6.5. Ayuda en la barra de herramientas y al lado de cada formulario. (Fuente: propia)

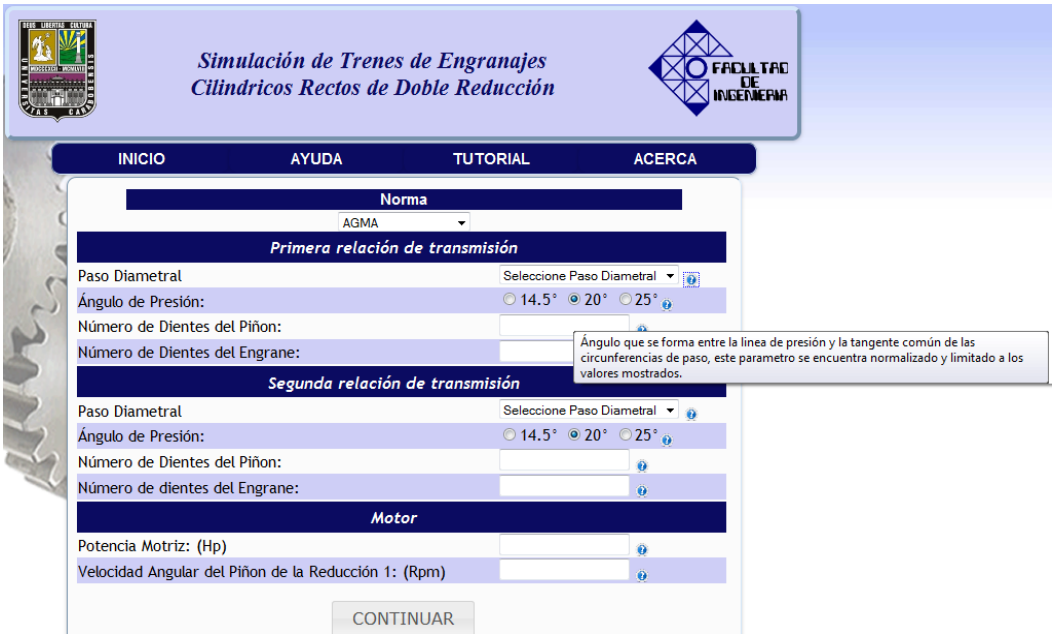

Figura 6.6. Ayuda al pasar el cursor sobre el botón de ayuda al lado del formulario. (Fuente: propia)

6.4 Resultados

Para realizar el estudio de la evaluación heurística se utilizó como instrumento para la evaluación **8** encuestas (Ver anexo) a personas relacionadas con el área de ingeniería, con el fin de conocer cuáles son los criterios de usabilidad que tuvo cada participante.

El instrumento cuenta con dos secciones de preguntas y una de sugerencia, en la cual se conoce la opinión de los participantes con respecto a distintos puntos de usabilidad del software.

La primera sección de preguntas está enfocada al uso del programa, conocer si el usuario considera que la aplicación posee elementos, interfaz gráfica y unas animaciones acordes a lo mostrado en la interfaz gráfica

La primera pregunta es con respecto a la interfaz grafica el 100% de los encuestados está de acuerdo con la interfaz de la aplicación.

La segunda pregunta es acerca de la distribución de los elementos de la pantalla el 87,5% de los encuestados opino que es excelente, el otro 12,5% dijo que era buena la distribución de los elementos de la pantalla.

La tercera pregunta corresponde a la calidad de los gráficos e imágenes que se contemplan en la interfaz gráfica del programa un 37,5% cree que es excelente y un 62,5% cree que es buena la calidad de los gráficos e imágenes de la aplicación.

La calidad de las animaciones fue la cuarta pregunta en la cual el 62,5% de los encuestados opino que era excelente y el otro 37,5% opino que era buena.

Por último se pregunto acerca de la documentación escrita del programa un 75% expreso que era excelente y un 25% opino que era buena.

Se puede observar que en la primera sección de preguntas los usuarios estuvieron en su mayoría de acuerdo con respecto a cada uno de los aspectos estudiados en la encuesta.

La segunda sección en la encuesta corresponde a una serie de preguntas con respuesta simple solo se tiene como opción Si o No.

Todas las respuestas obtenidas en esta sección fueron completamente satisfactorias ya que el 100% opino que el programa era fácil de usar, no requería adiestramiento, que aportaba instrucciones, no presenta

elementos innecesarios, es beneficioso para el aprendizaje y logra motivar al estudiante, por lo tanto se mostro la satisfacción total de los usuarios con respecto al programa.

La última sección de la encuesta se refería a las sugerencias que los usuarios tenían para mejorar el programa, algunas de ellas fueron que la leyenda se encontrara al lado de la gráfica de los pares de engranes, visualizar una imagen de tren de engranes en la zona de entrada de datos, colocar los acentos en algunas palabras que no poseían, es de destacar que todas las sugerencias se tomaron en cuenta y se procedió a modificar la aplicación para así lograr que el software sea más dinámico para el usuario.

CAPÍTULO 7
Análisis de Resultados

En esta etapa se realiza la validación de la herramienta computacional desarrollada, al comparar los resultados obtenidos de 4 problemas tipo, mediante su solución manual, con la solución arrojada por el programa.

7.1 Problemas de trenes de engranes con resolución .

A continuación se presenta un problema que implica el cálculo de todos los parámetros cuya solución es obtenida por el programa.

7.1.1 Problema.

Se tiene un tren de engranajes cilíndrico recto de doble reducción, en la primera reducción se tiene un par de engranes de 15 dientes para el piñón y 29 dientes para el engrane, esta relación tiene un modulo de 8 y un ángulo de presión de 25°, la segunda reducción se logra mediante el acoplamiento de un piñón de 12 dientes y un engrane de 16 dientes, esta relación tiene un modulo de 2 y un ángulo de presión de 20°, el motor acoplado al primer piñón entrega al sistema una potencia de 20W y 1750RPM.

Parámetros generales de la reducción 1.

Addendum (a) = 8 mm.

Deddendum (b) = 10.00 mm.

Modulo (m) = 8 mm.

Ángulo de Presión (α) = 25 °

Paso Circular (Pc) = 25.1327412287 mm.

Paso Base (Pb) = 22.7779990851 mm.

Potencia Transmitida (Pot) = 20 W.

Relación de Transmisión (Rt) = 1.9333333333

Línea de Acción (Z) = 32.1998764103 mm.

Razón de Contacto (mp) = 1.4136393758

Parámetros del Piñón de la reducción 1.

Número de Dientes del Piñón (Np) = 15 Dientes.

Diámetro de Paso Piñón (Dpp) = 120 mm.

Diámetro Addendum Piñón (Dap) = 136.0000000000 mm.

Diámetro Base Piñón (Dbp) = 108.7569344443 mm.

Diámetro Dedendum Piñón (Ddp) = 100.0000000000 mm.

Velocidad Angular del Piñón (Vp) = 1750 rad/s.

Par Torsor del Piñón (Ptp) = 0.0114285714 Nm.

Parámetros del Engrane de la reducción 1.

Número de Dientes del Engrane (Ng) = 29 Dientes.

Diámetro de Paso Engrane (Dpg) = 232 mm.

Diámetro Addendum Engrane (Dag) = 248.0000000000 mm.

Diámetro Base Engrane (Dbg) = 210.2634065925 mm.

Diámetro Dedendum Engrane (Ddg) = 11.6000000000 mm.

Velocidad Angular del Engrane (Vg) = 905.1724138087 rad/s.

Par Torsor del Engrane (Ptg) = 0.0220952380 Nm.

Parámetros generales de la reducción 2.

Addendum (a) = 2 mm.

Deddendum (b) = 2.5 mm.

Modulo (m) = 2 mm.

Ángulo de Presión (α) = 20 °

Paso Circular (Pc) = 6.2831853071 mm.

Paso Base (Pb) = 5.9042628681mm.

Potencia Transmitida (Pot) = 20 W.

Relación de Transmisión (Rt) = 1.3333333333

Línea de Acción (Z) = 8.6174955297 mm.

Razón de Contacto (mp) = 1.4595379173

Parámetros del Piñón de la reducción 2.

Número de Dientes del Piñón (Np) = 12 Dientes.

Diámetro de Paso Piñón (Dpp) = 24 mm.

Diámetro Addendum Piñón (Dap) = 28.0000000000 mm.

Diámetro Base Piñón (Dbp) = 22.5526228988 mm.

Diámetro Dedendum Piñón (Ddp) = 19.0000000000 mm.

Velocidad Angular del Piñón (Vp) = 905.1724138087 rad/s.

Par Torsor del Piñón (Ptp) = 0.0220952380 Nm.

Parámetros del Engrane de la reducción 2.

Número de Dientes del Engrane (Ng) = 16 Dientes.

Diámetro de Paso Engrane (Dpg) = 32 mm.

Diámetro Addendum Engrane (Dag) = 36.0000000000 mm.

Diámetro Base Engrane (Dbg) = 30.0701638651 mm.

Diámetro Dedendum Engrane (Ddg) = 6.4000000000 mm.

Velocidad Angular del Engrane (Vg) = 678.8793103734 rad/s.

Par Torsor del Engrane (Ptg) = 0.0294603174 Nm.

Figura 7.1. Valores obtenidos por el programa para la primera reducción.

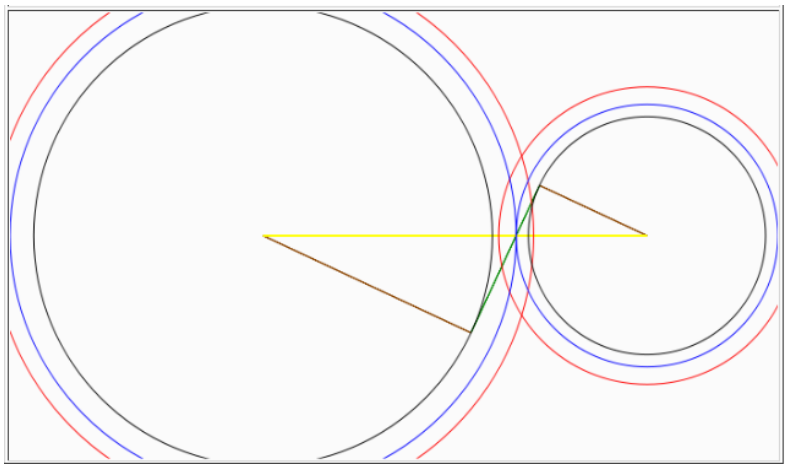

Figura 7.2. Grafica de los engranes de la primera reducción en la que se puede apreciar que no hay interferencia.

Parámetros Generales de R2			
Addendum	a	2	mm.
Deddendum	b	2.50	mm.
Módulo	m	2	mm.
Ángulo de Presión	α	20	°
Paso Circular	Pc	6.2831853071	mm.
Paso Base	Pb	5.9042628681	mm.
Potencia Transmitida	Pot	20	W.
Relación de Transmisión	Rt	1.3333333333	
Linea de Acción	Z	8.6174955297	mm.
Razón de Contacto	mp	1.4595379173	
Parámetros del Piñón			
Número de Dientes del Piñón	Np	12	Dientes.
Diámetro de Paso Piñón	Dpp	24	mm.
Diámetro Addendum Piñón	Dap	28.0000000000	mm.
Diámetro Base Piñón	Dbp	22.5526228988	mm.
Diámetro Dedendum Piñón	Ddp	19.0000000000	mm.
Velocidad Angular del Piñón	Vp	905.1724138087	rad/s.
Par Torsor del Piñón	Ptp	0.0220952380	Nm.
Parámetros del Engrane			
Número de Dientes del Engrane	Ng	16	Dientes.
Diámetro de Paso Engrane	Dpg	32	mm.
Diámetro Addendum Engrane	Dag	36.0000000000	mm.
Diámetro Base Engrane	Dbg	30.0701638651	mm.
Diámetro Dedendum Engrane	Ddg	6.4000000000	mm.
Velocidad Angular del Engrane	Vg	678.8793103734	rad/s.
Par Torsor del Engrane	Ptg	0.0294603174	Nm.

Figura 7.3. Valores obtenidos por el programa para la segunda reducción.

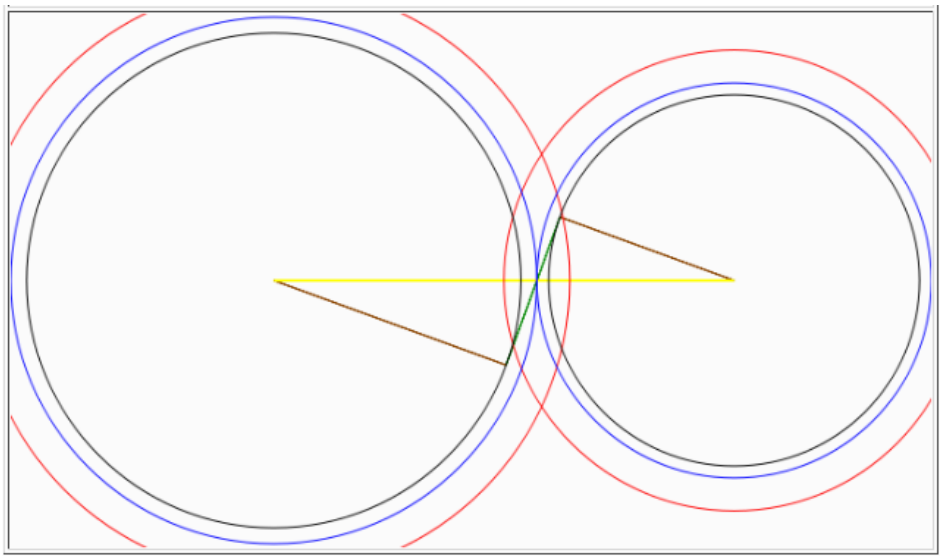

Figura 7.4. Grafica de los engranes de la segunda reducción en la que se puede apreciar que existe interferencia.

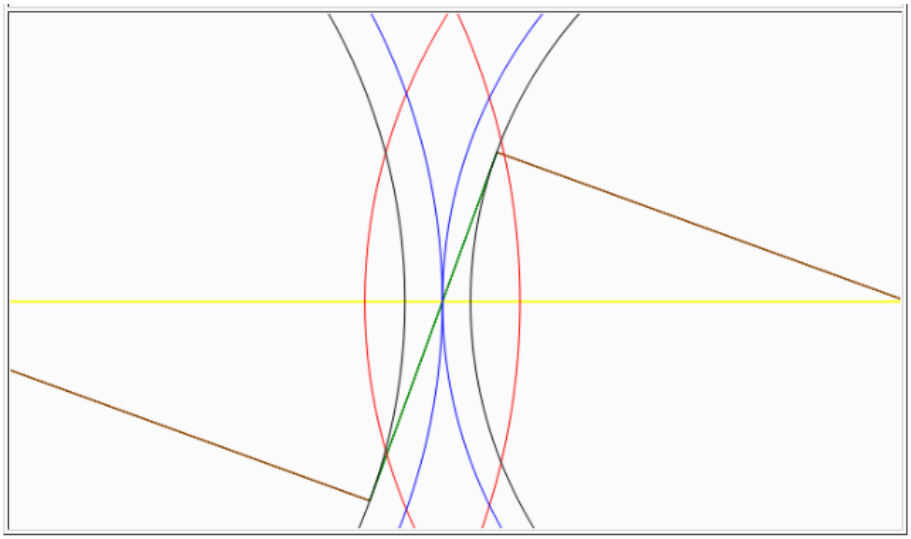

Figura 7.5. Grafica de los engranes de la segunda reducción haciendo zoom en la zona central en la cual se puede apreciar que existe interferencia.

Como se puede observar en la resolución obtenida por el programa en la figura 6.4 y la figura 6.5 se aprecia que existe interferencia ya que se puede apreciar que las líneas de presión (marrones), se encuentra dentro de

las circunferencias addendum (rojas), esto permite al usuario un considerable ahorro de tiempo en cuanto a la verificación de la interferencia en un problema, debido a que el desarrollo de estas graficas de manera manual presentan el error humano.

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

ENCUESTA

Diseño de una herramienta didáctica computacional para evaluar el comportamiento cinemático de un tren de engranajes cilíndricos rectos.

I. Datos del Encuestado.

Nombre y Apellido: _____

Institución: _____

Especialidad: _____ Semestre: _____

II. Marque con una "X".

	MM	M	R	B	E
Interfaz gráfica					
Distribución de los elementos de la pantalla					
Calidad de gráficos e imágenes					
Calidad de animaciones					
Documentación escrita complementaria del programa					

MM: Muy Malo, M: Malo, R: Regular, B: Bueno, E: Excelente.

III. Responda las siguientes preguntas:

a.- Fácil de usar Si_____ No_____

b.- Requiere adiestramiento específico Si_____ No_____

b.- Aporta instrucciones el programa Si_____ No_____

c.- Presenta elementos innecesarios Si_____ No_____

d.- Es beneficioso para el aprendizaje Si_____ No_____

e.- Logra motivar al estudiante Si_____ No_____

IV. Sugerencias:

_____

_____

_____

Conclusiones

- Por medio de la implementación de esta herramienta computacional didáctica, se puede simplificar significativamente el trabajo y a su vez incrementar la precisión y exactitud, cuando se resuelven problemas de trenes de engranajes cilíndricos rectos, ya que ofrece al usuario una interfaz gráfica exacta y elimina el proceso de construcción de curvas en papel lo cual presenta errores de apreciación y de trazado.
- Se estableció un mecanismo de tren de engranajes cilíndrico recto y se evaluaron los criterios de aplicación mecánica del comportamiento cinemático de dicho mecanismo.
- La herramienta computacional es versátil en cuanto a la resolución de problemas de trenes de engranajes cilíndricos rectos simples de innumerables relaciones de transmisión permitiendo al usuario ser parte de la apreciación e identificación de posibles fallas en combinaciones de engranajes.
- Se estudiaron los criterios de diseño y parámetros que definen el diseño de los engranajes cilíndricos rectos y las consideraciones a tener presentes al diseñar un tren de engranaje.
- Es importante mencionar que en el área académica, la herramienta computacional es de gran utilidad, debido a que el estudiante puede analizar de manera rápida y sistemática los factores que influyen en el comportamiento cinemático de un tren de engranajes cilíndrico recto,

ya que se elimina en su mayoría el tiempo perdido durante la resolución del problema, donde no se utilizan los conocimientos adquiridos por el estudiante, sino que se realiza un procedimiento repetitivo donde el usuario no enfoca su atención en el estudio del problema.

- Se definieron todas las ecuaciones que rigen el comportamiento cinemático de un tren de engranaje así como las que rigen el diseño de los mismos.
- Los algoritmos, se puede decir que al analizar cada procedimiento, se verificó el buen funcionamiento del programa, donde se comprueba además la eficiencia que posee el mismo a la hora de realizar los cálculos.
- Por último, en esta herramienta se logró visualizar comportamiento cinemático del tren de engranajes a través de gráficos impresos en dos (2) y tres (3) dimensiones.

Recomendaciones

- Es recomendable que para la materia mecanismos de la escuela de ingeniería mecánica, las clases se dicten con la ayuda de esta herramienta computacional, ya que se ahorra tiempo durante la resolución de los problemas y el profesor encargado de la materia podrá enfocarse más en explicar los aspectos teóricos relevantes de la asignatura que el alumnado debe conocer.
- Es importante que se realicen pruebas al programa por parte de los estudiantes o usuarios, para recibir de los mismos cualquier sugerencia o mejora que consideren conveniente.
- Es relevante mencionar que para el buen uso de la herramienta, es recomendable leer en su totalidad el manual de usuario, de ésta manera se utilizará el programa de la forma correcta.
- Debido a que este programa fue desarrollado en su totalidad por software libre y/o código abierto, se puede continuar el trabajo realizado por nosotros en futuras tesis agregándole ya sea el estudio dinámico o incluso realizándolo para trenes de engranajes helicoidales, planetarios o cualquier otro tipo con el fin de tener una herramienta que permita abarcar mas casos de solución de problemas.

- Traducir la aplicación web a otros idiomas como el inglés, portugués, alemán, etc. Para no tener como limitación el idioma del usuario.

Apéndice

Manual de usuario

Manual de Usuario de Trencir (Herramienta computacional para la asistencia en la resolución de problemas de trenes de engranes cilíndricos rectos de doble reducción)

1. ¿Qué es Trencir?

Trencir es un programa computacional diseñado para la asistencia en la resolución de problemas de trenes de engranes cilíndricos rectos de doble reducción, dirigido principalmente al área académica, con el fin de simplificar el trabajo durante la resolución de problemas de este tipo.

La utilización de una herramienta computacional para el diseño de un tren de engranajes cilíndricos rectos, permite que el diseñador escoja la configuración más conveniente y pueda visualizar los pares de engranajes para predecir las características de movimiento del mecanismo, apoyando este el área educativa en el aprendizaje y dominio de las materias de diseño mecánico, permitiendo al estudiante tener visualmente una simulación con los resultados de las diferentes variables que puedan intervenir en el diseño.

Cabe destacar que la herramienta computacional sólo sirve de asistencia durante la resolución de problemas de redes trenes de engranajes cilíndricos rectos de doble reducción, es decir, el usuario debe tener previos conocimientos con respecto al área de diseño mecánico, para obtener resultados satisfactorios.

2. Barra de navegación principal de Trencir.

En esta barra se encuentra cada una de los componentes principales para el uso de la aplicación web como lo son Inicio, Ayuda, Tutorial, Acerca, cada uno de estos se explican a continuación.

Figura 1. Barra principal de navegación de Trencir.

2.1. Inicio.

Permite al usuario ir a la pantalla principal de la aplicación web, para proceder a iniciar una nueva resolución de cálculo a un problema de tren de engranajes cilíndricos rectos de doble reducción.

2.2. Ayuda.

Lleva al usuario hacia la interfaz de ayuda del programa, en esta página se muestran las principales conceptos que debe tener el usuario para poder comprender cada uno de los parámetros que se le piden al momento de realizar el cálculo, y a su vez también le permite conocer que significa cada uno de los resultados arrojados por el programa.

2.3. Tutorial.

Muestra al usuario como usar la aplicación web en caso de que no comprenda el uso de este.

2.4. Acerca.

Muestra la información de los realizadores, colaboradores y agradecimientos de la aplicación web.

3. Pasos generales a seguir para resolver problemas en Trencir.

1. Se da la bienvenida al usuario en la pantalla principal de la aplicación web, en la cual se tiene una pequeña sinopsis del programa, para seguir avanzando el usuario debe hacer click en “Entrar”.
2. Se selecciona el tipo de norma a utilizar en el programa siendo ISO para el sistema internacional y AGMA para el sistema inglés.
3. Se introducen las opciones de cálculo requeridas por el programa, entre las que se encuentran el ángulo de presión para relación de

transmisión 1 y 2, número de dientes del motriz de la relación de transmisión 1 y 2, número del dientes del no motriz de la relación de transmisión 1 y 2, potencia motriz del sistema, velocidad angular de entrada del sistema, dependiendo de la norma seleccionada en el paso 1, el programa requerirá el módulo si seleccionó la norma ISO o el paso diametral si seleccionó la norma AGMA.

4. En caso de no tener algún concepto claro, el usuario siempre dispone de la ayuda al lado de cada cuadro de texto en el que se le otorga la información necesaria para aclarar todos los conceptos pertinentes a los engranes cilíndricos rectos.
5. Se procede a mostrar en la pantalla los resultados en pestañas de la primera relación de engranes y segunda relación de engranes, cada uno de ellos con la respectiva grafica que representa la circunferencia addendum, circunferencia deddendum, circunferencia de paso, línea de acción, línea de distancia entre centros y la línea del ángulo de presión, y en la última pestaña se encuentra la animación que mejor representa el tren de engranajes cilíndricos rectos de doble reducción.

Es de hacer notar que la aplicación web permite al usuario trabajar de una manera intuitiva debido a que esta va llevándolo a través de los pasos mencionados anteriormente en forma lineal, permitiendo de esta manera que el nivel de conocimiento acerca del uso del internet no sea una limitante para el usuario.

4. Pantalla principal de Trencir.

Esta muestra una pequeña sinopsis de la función, uso y hacia quien va dirigida esta aplicación web, además, tiene el botón de “Entrar” para

iniciar el proceso de entrada de variables y resolución del problema respectivamente.

Figura 2. Pantalla principal de Trencir.

5. Pantalla de selección de norma.

En esta pantalla se muestra un menú desplegable en el cual el usuario selecciona el tipo de norma a utilizar, es de hacer notar que al usuario seleccionar la norma automáticamente se accede a la siguiente pantalla, además se puede observar un esquema representativo de un tren de engranajes cilíndrico recto de doble reducción.

Figura 3. Pantalla de selección de norma de Trencir.

6. Pantalla de entrada de variables.

En esta se le pide al usuario el número mínimo de variables requeridas para poder realizar el cálculo del tren de engranajes, el usuario no podrá avanzar si deja algún campo vacio, con letras en el textbox o introduce un numero de dientes del piñón mayor que el de el engrane mostrándosele una advertencia en la pantalla, además al seleccionar el ángulo de presión se le informara al usuario cual es la cantidad mínima de dientes que debe poseer el piñón para evitar la interferencia, siendo esto solo un aviso mas no una limitante que le impida continuar al usuario.

Figura 4. Pantalla de entrada de variables.

7. Pantalla de muestra de resultados.

Esta representa la más importante ya que se muestran los resultados obtenidos acordes con las variables de entrada introducidas por el usuario, en esta pantalla se muestra tres pestañas dentro del recuadro de resultados siendo estas, la **Relación 1** en el que se muestra todos los parámetros que corresponden al primer par de engranes de la primera relación de transmisión donde se encuentra el piñón motriz, **Relación 2** en el cual se muestran todos los parámetros que corresponden al segundo par de engranes donde se encuentra la corona impulsada que otorga la salida del sistema, **Animación** en esta pestaña se encuentra el video que mejor representa el tren de engranajes cilíndricos rectos obtenidos por los valores anteriores.

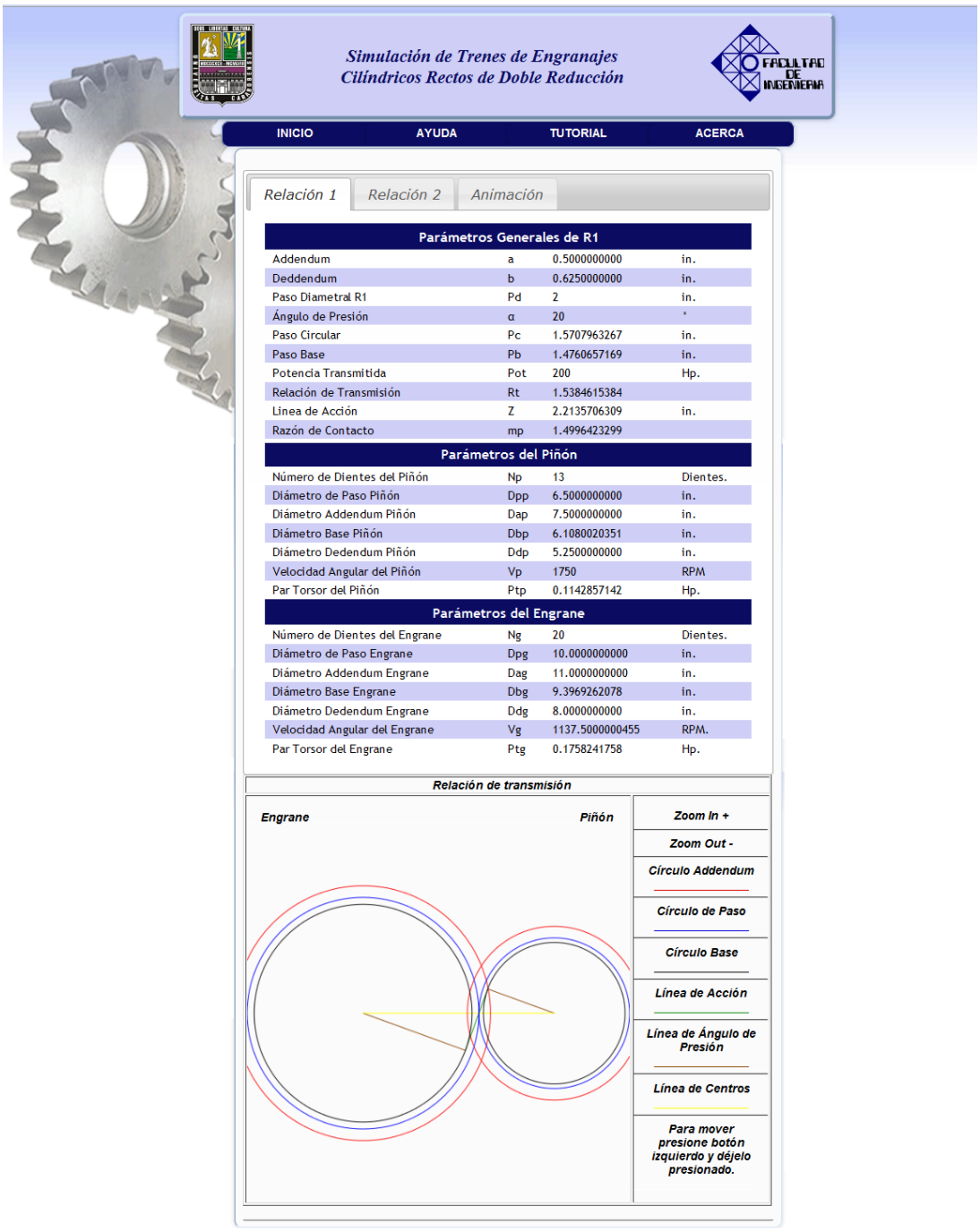

Figura 5. Pantalla de muestra de resultados.

Figura 6. Animación de tren de engranaje.