



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE
TRANSMISIÓN DE VELOCIDAD DE VARIABLE CONTINUA
PARA EL LABORATORIO DE MECANISMOS DEL DECEM.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO.**

**AUTORES: HERRERA NAVAS JUAN CARLOS
JIMÉNEZ RIZO JAVIER ALEJANDRO**

DIRECTOR: ING. FERNANDO OLMEDO

CODIRECTOR: ING. JAIME ECHEVERRÍA

Sangolquí, 2014-05

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE VELOCIDAD DE VARIABLE CONTINUA PARA EL LABORATORIO DE MECANISMOS DEL DECEM” fue realizado en su totalidad por los señores Juan Carlos Herrera Navas y Javier Alejandro Jiménez Rizo, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Fernando Olmedo

DIRECTOR

Ing. Jaime Echeverría

CODIRECTOR

Sangolquí, 2014 - Mayo

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE VELOCIDAD DE VARIABLE CONTINUA PARA EL LABORATORIO DE MECANISMOS DEL DECEM”

ELABORADO POR:

.....

Juan Carlos Herrera Navas

.....

Javier Alejandro Jiménez Rizo

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

.....

ING. JOSÉ PÉREZ

DIRECTOR DE CARRERA

Sangolquí, 2014 – Mayo

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

AUTORIZACION

NOSOTROS, JUAN CARLOS HERRERA NAVAS Y JAVIER ALEJANDRO JIMÉNEZ RIZO.

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado, **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE VELOCIDAD DE VARIABLE CONTINUA PARA EL LABORATORIO DE MECANISMOS DEL DECEM”**

.....

Juan Carlos Herrera Navas

C.I:172155330-1

.....

Javier Alejandro Jiménez Rizo

C.I:172402354-2

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Juan Carlos Herrera Navas y Javier Alejandro Jiménez Rizo, declaramos bajo juramento que el contenido de la presente tesis, es de nuestra autoría; no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional.

.....

Juan Carlos Herrera Navas

C.I:172155330-1

.....

Javier Alejandro Jiménez Rizo

C.I:172402354-2

Sangolquí, 2014 – Mayo

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
RESUMEN	xiv

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCION.....	1
1. 1 ANTECEDENTES	1
1. 2 OBJETIVOS.	3
1.2. 1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2. 1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1. 3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1. 4 ALCANCE	4
CAPÍTULO 2	5
MARCO TEÓRICO	5
2. 1 INTRODUCCIÓN A LOS MECANISMOS	5
2. 2 MECANISMOS TRANSFORMADORES DE MOVIMIENTO.....	5
2.2. 1 DEFINICIÓN	5
2. 3 MECANISMOS TRANSMISORES DE MOVIMIENTO.....	6
2.3. 1 DEFINICIÓN	6
2.3. 2 CLASIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO.....	7
2.3. 3 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO.....	18
2. 4 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE VELOCIDAD CONTINUA VARIABLE (CVT)	20
2.4. 1 DEFINICIÓN DE CVT.....	20

2.4. 2 EVOLUCIÓN DE LOS CVTS	21
2.4. 3 TIPOS DE CVT	25
2.4. 4 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	34
2.4. 5 VENTAJAS	37
2.4. 6 DESVENTAJAS.....	37
CAPÍTULO 3	38
DISEÑO MECÁNICO DEL PROTOTIPO	38
3.1 REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES.....	38
3.2 SELECCIÓN DEL MECANISMO DE TRANSMISION.....	39
3.3 DISEÑO GEOMÉTRICO	41
3.3.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO	41
3.3.1.1 Análisis de Posición.....	42
3.3.1.2 Análisis de Velocidad	50
3.3.1.3 Análisis de Aceleración	57
3.3.2 ANÁLISIS DINÁMICO.....	62
3.3.2.1 Análisis de Torque	62
3.3.2.2 Análisis de Fuerzas internas	64
3.4 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	69
3.4.1 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	69
3.4.2 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE CONTROL	70
3.5 SIMULACIÓN EN SOFTWARE DE SISTEMAS MULTICUERPO	72
CAPITULO 4	76
CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLE Y VALIDACIÓN.....	76
4.1 PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN	76
4.2 MONTAJE	78
4.2.1 PARTES.....	78
4.2.2 ACCESORIOS	81
4.2.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	82
4.2.4 ELEMENTOS DE CONTROL ELECTRONICO.....	82
4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	83
4.3.1 ANALISIS DE RESULTADOS.....	85
CAPÍTULO 5	87
GUÍA DE PRÁCTICAS	87
5. 1 ELABORACIÓN DE LA GUÍA DE PRÁCTICAS.....	87
5.1. 1 TEMA	87

5.1. 2 OBJETIVOS	87
5.1. 3 MARCO TEÓRICO	87
5.1. 4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	90
5.1. 5 ESQUEMA DEL EQUIPO	91
5.1. 6 PROCEDIMIENTO.....	93
5.1. 7 TABULACIÓN DE DATOS	93
5.1. 8 CUESTIONARIO	94
CAPÍTULO 6	97
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO	97
6.1 PRESUPUESTO DE INVERSIÓN	97
6.2 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	97
6.2.1 COSTOS DIRECTOS	97
6.2.2 COSTOS INDIRECTOS	100
6.2.3 COSTO TOTAL	101
6.2.4 BENEFICIO	101
6.3 ANÁLISIS FINANCIERO	101
6.3.1 ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO.....	102
6.4 ANÁLISIS DE IMPACTO SOCIAL-ECONOMICO.....	102
CAPÍTULO 7	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
7.1 CONCLUSIONES	103
7.2 RECOMENDACIONES.....	104
REFERENCIAS	105
ANEXOS	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1 Matriz de selección de mecanismo	40
Tabla 3. 2 Dimensiones de eslabones.....	41
Tabla 3. 3 Nomenclatura utilizada para cálculos en Mathcad	47
Tabla 3. 4 Puntos de curva de velocidad ω_6 para mecanismos desfasados	55
Tabla 3. 5 Especificaciones técnicas del motor	69
Tabla 3. 6 Matriz de selección de tacómetro	70
Tabla 3. 7 Dimensiones finales de barras para mecanismo	72
Tabla 4. 1 Elementos mecanizados para construcción de prototipo	76
Tabla 4. 2 Elementos adquiridos para construcción de prototipo	77
Tabla 4. 3 Tabla de resultados de prueba de funcionamiento mecánico.....	84
Tabla 4. 4 Tabla de resultados de prueba de funcionamiento eléctrico.....	85
Tabla 6. 1 Presupuesto de inversión.....	97
Tabla 6. 2 Costo directo total	98
Tabla 6. 3 Costo de equipos y materiales	98
Tabla 6. 4 Costo mano de obra directa	100
Tabla 6. 5 Costo diseño	100
Tabla 6. 6 Costo indirecto total	100
Tabla 6. 7 Costo total.....	101

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Lestrangeng.....	1
Figura 1.2 CVT con anillos cónicos.....	2
Figura 1.3 Mecanismo ideal original de CVT	2
Figura 2. 1 Esquema Sistema de poleas	6
Figura 2. 2 Esquema Sistema de poleas	7
Figura 2. 3 Principio físico de la palanca	8
Figura 2. 4 Polea.....	9
Figura 2. 5 Polea fija	10
Figura 2. 6 Polea móvil	10
Figura 2. 7 Polipasto	11
Figura 2. 8 Sistema de transmisión Poleas - Correa.....	12
Figura 2. 9 Tren de engranes	13
Figura 2. 10 Esquema Tren de Engranes Simple	13
Figura 2. 11 Esquema Tren de Engranes Compuesto.....	14
Figura 2. 12 Tren epicicloidal	16
Figura 2. 13 Tren epicicloidal de Simpson	16
Figura 2. 14 Tren epicicloidal de Ravigneaux	17
Figura 2. 15 Esquema de IVT	18
Figura 2. 16 Sistemas de transmisión de un vehículo.....	19
Figura 2. 17 Sistemas de transmisión de una bicicleta.....	19
Figura 2. 18 Caja reductora	20
Figura 2. 19 CVT – Poleas de Diámetro Variable	21
Figura 2. 20 Primeras aplicaciones de un CVT en un vehículo.....	22
Figura 2. 21 Contantinesco.....	22
Figura 2. 22 CVT - Variomatic.....	23
Figura 2. 23 Correa de Transmisión de acero.....	24
Figura 2. 24 CVT Nissan Xtronic.....	25
Figura 2. 25 CVT- Poleas de Diámetro Variable	26
Figura 2. 26 Esquema cambio de Diámetro Poleas de un CVT	26
Figura 2. 27 Correa de transmisión fabricada de caucho	27

Figura 2. 28 Correa de transmisión fabricada de acero	27
Figura 2. 29 CVT Toroidal.....	28
Figura 2. 30 Esquema funcionamiento CVT Toroidal	29
Figura 2. 31 CVT Rodillos Cónicos	29
Figura 2. 32 CVT Hidráulico - partes.....	30
Figura 2. 33 Esquema Funcionamiento CVT Hidráulico	31
Figura 2. 34 CVT tipo Eslabonamiento (Constantinesco) - partes	32
Figura 2. 35 Esquema Funcionamiento CVT tipo Eslabonamiento.....	32
Figura 2. 36 CVT Magnético - partes	34
Figura 2. 37 Principio de funcionamiento CVT de Poleas de Diámetro Variable.....	35
Figura 2. 38 Principio de funcionamiento CVT Toroidal Error! Marcador no definido.	
Figura 2. 39 Principio de funcionamiento CVT Hidráulico	36
Figura 3. 1 Zero Max drive	41
Figura 3. 2 Mecanismo en Autocad	42
Figura 3. 3 Vector auxiliar para obtención de ecuaciones paramétricas	42
Figura 3. 4 Mecanismo completo para obtención de ecuaciones paramétricas	45
Figura 3. 5 Variación ángulo 4 en función del tiempo	48
Figura 3. 6 Variación ángulo 3 en función del tiempo	49
Figura 3. 7 Variación ángulo 6 en función del tiempo	49
Figura 3. 8 Variación ángulo 5 en función del tiempo	50
Figura 3. 9 Variación de la velocidad 4 en función del tiempo	52
Figura 3. 10 Variación de la velocidad 3 en función del tiempo	53
Figura 3. 11 Variación de la velocidad 6 en función del tiempo	53
Figura 3. 12 Variación de la velocidad 5 en función del tiempo	54
Figura 3. 13 Velocidad 6 de mecanismos desfasados en función del tiempo.....	57
Figura 3. 14 Variación de la aceleración 4 en función del tiempo	60
Figura 3. 15 Variación de la aceleración 3 en función del tiempo	61
Figura 3. 16 Variación de la aceleración 6 en función del tiempo	61

Figura 3. 17 Variación de la aceleración $\ddot{\theta}_5$ en función del tiempo.....	62
Figura 3. 18 Gráfica fuerza de torsión en eje de entrada.....	63
Figura 3. 19 Análisis de fuerzas internas eslabón R2-1.....	65
Figura 3. 20 Análisis de fuerzas internas eslabón R2-2.....	66
Figura 3. 21 Análisis de fuerzas internas eslabón R3.....	66
Figura 3. 22 Análisis de fuerzas internas eslabón R4.....	67
Figura 3. 23 Análisis de fuerzas internas eslabón R5.....	67
Figura 3. 24 Análisis de fuerzas internas eslabón R6.....	68
Figura 3. 25 Selector ON/OFF.....	71
Figura 3. 26 Botón start.....	71
Figura 3. 27 Microswitch.....	72
Figura 3. 28 Simulación de mecanismo en Working Model para diferentes posiciones.....	73
Figura 3. 29 Simulación de mecanismo en SolidWorks.....	74
Figura 3. 30 Diseño final del prototipo en SolidWorks.....	75
Figura 4. 1 Conjunto armado con tres mecanismos.....	79
Figura 4. 2 Bancada con soportes soldados.....	79
Figura 4. 3 Bancada con mecanismos.....	80
Figura 4. 4 Montaje tornillo sin fin - corona.....	80
Figura 4. 5 Bancada con brida para motor.....	81
Figura 4. 6 Prototipo con motor instalado.....	81
Figura 4. 7 Diagrama de conexión interruptor-motor.....	82

RESUMEN

En nuestra actualidad los variadores de velocidad de variable continua (CVT) ocupan un lugar importante en la industria no solamente automotriz, sino también manufacturera y de la construcción, por esta razón se decidió realizar un prototipo que sea capaz de explicar al estudiante del DECEM la funcionalidad de este tipo de sistemas.

En el primer capítulo se encuentra la justificación, importancia y los objetivos que tiene el proyecto. Una reseña histórica y evolución de los CVTs a través del tiempo así como también el principio de funcionamiento, los tipos de CVTs existentes, las ventajas y desventajas que presentan este tipo de sistemas frente a los sistemas de transmisión convencionales se encuentra detallado en el capítulo dos. La selección del mecanismo de transmisión que utilizará el prototipo, el dimensionamiento del mismo, el estudio del movimiento la comprobación teórica de la variación de velocidad de salida, selección de instrumentos de medición así como la simulación del mecanismo en software de diseño para comprobar su funcionamiento correcto antes de realizar la construcción, se pueden observar en el capítulo tres. El capítulo cuatro contiene el procedimiento que se realizó en la construcción del proyecto, las pruebas de funcionamiento que se realizaron una vez construido el prototipo para de esta manera validar su funcionamiento, analizando los resultados obtenidos y comparando con los valores teóricos de velocidad. Una guía de práctica de laboratorio para los estudiantes del DECEM se encuentra elaborada en el capítulo cinco dejando de esta manera una orientación en la utilización del equipo así como también la comprensión del funcionamiento del mismo. Los análisis de costos y el desglose de los diferentes gastos se encuentran en el capítulo seis, al igual que un análisis financiero que comprende el costo/beneficio de la realización del proyecto y las ventajas de tener un prototipo en el laboratorio del DECEM. Finalmente en el capítulo siete se encuentran las conclusiones de la realización del proyecto y las recomendaciones para quienes serán los usuarios del prototipo. **Palabras clave:** Mecanismos de transmisión de velocidad, CVT, Diseño de máquinas

ABSTRACT

In our present variable speed continuously variable (CVT) play an important role in not only automotive, but also manufacturing and construction industry , for this reason it was decided to make a prototype that is able to explain to the student DECEM the functionality of such systems .

The first chapter is the rationale, importance and objectives is planning. A history and evolution of CVTs over time as well as the principle of operation, the types of CVTs , the advantages and disadvantages of these systems compared to conventional transmission systems is detailed in chapter two . The selection of the transmission mechanism will use the prototype, the sizing is the theoretical study of the motion detection of output speed variation , selection of measurement tools and simulation software design mechanism to check its operation right before the construction can be seen in chapter three. Chapter four contains the procedure that was performed in project construction, performance tests that were performed once built the prototype to thereby validate its operation , analyzing and comparing the results with theoretical velocity values. A guide to practical laboratory for students DECEM is elaborated in chapter five thus leaving guidance on the use of equipment as well as the understanding of the operation. The cost analysis and breakdown of the various costs are in chapter six, as well as a financial analysis that includes the cost / benefit of the project and the benefits of having a prototype in the lab DECEM . Finally in chapter seven are the findings of the project and recommendations for users who will be the prototype.

Keywords: Mechanisms speed transmission , CVT , Machine Design

CAPÍTULO 1

INTRODUCCION

1. 1 ANTECEDENTES

La transmisión es uno de los elementos mecánicos más importantes del automóvil y por ende, las marcas invierten fuertes cantidades en su desarrollo. Las cajas CVT son un interesante resultado de esa investigación.

Este tipo de transmisión se caracteriza y diferencia de las cajas estándar al no tener un número específico de engranajes o velocidades, ya que este sistema se basa en un principio simple de funcionamiento que hace que en lugar de tener una cantidad discreta de relaciones ya sean este número cinco, seis, o incluso más, se pasará a tener una cantidad casi infinita de relaciones dentro de sus propios límites. Esto se debe a que no hay unas relaciones establecidas e inamovibles entre el giro del motor y las ruedas, sino un cambio gradual de esta optimizando la relación en función de la velocidad y las necesidades de ese momento.

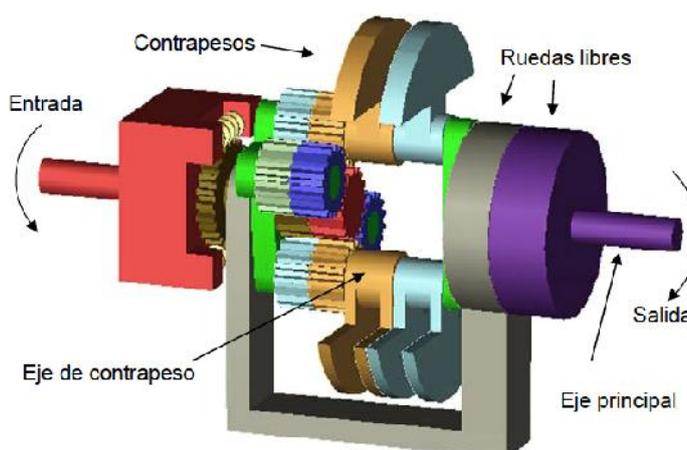


Figura 1.1 Lestraneng

Fuente: Guisasola

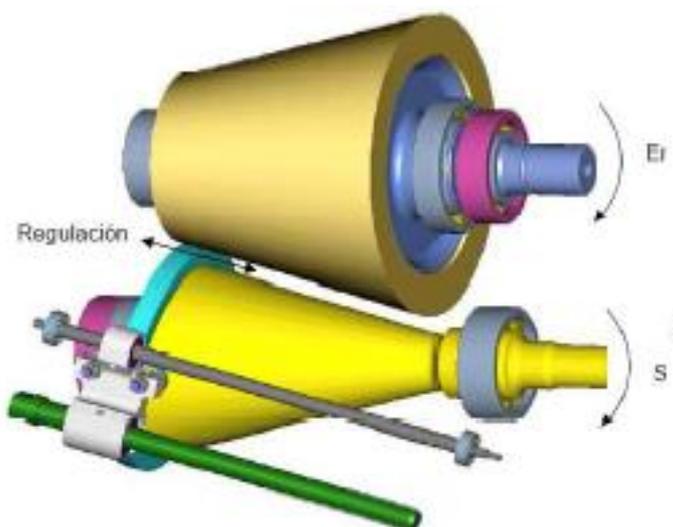


Figura 2.2 CVT con anillos cónicos

Fuente: Guisasola

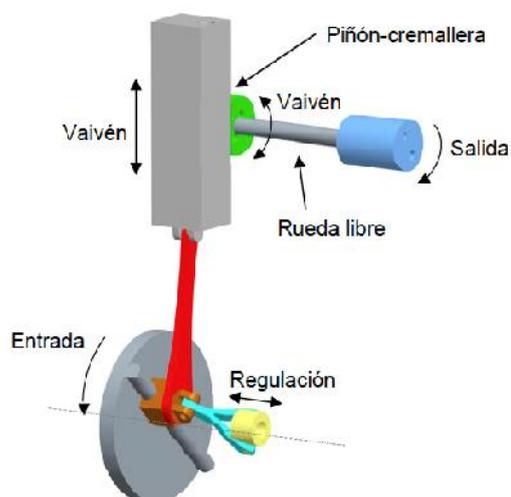


Figura 3.3 Mecanismo ideal original de CVT

Fuente: Guisasola

En sus inicios, las transmisiones continuas variables se usaron en pequeñas máquinas como motonetas, debido a que no eran capaces de soportar el torque de un motor de un automóvil. Sin embargo, su evolución

permitió comenzar a usarlas en este tipo de vehículos desde hace algunos años.

El laboratorio de Mecanismos posee bancos de pruebas para sistemas de transmisión convencionales tales como caja de cambios con engranes rectos y con sistema planetario, más no cuenta con un equipo CVT(Continuously Variable Transmission) que permita realizar prácticas sobre este novedoso sistema de transmisión que se ha venido desarrollando e implementando en ciertos modelos de automóviles de diferentes marcas obteniéndose excelentes resultados en cuanto a rendimientos y ahorro de combustible se refiere.

Por otro lado, podemos decir que en la Escuela Politécnica del Ejército, no se han realizado proyectos similares al propuesto en el presente documento.

1. 2 OBJETIVOS.

1.2. 1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema de transmisión de velocidad de variable continua para el laboratorio de mecanismos del DECEM.

1.2. 1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los parámetros principales que se tomarán en cuenta en el diseño del sistema.
- Desarrollar el prototipo de CVT en base a los parámetros previamente establecidos.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema para comprobar la funcionalidad del prototipo.
- Elaborar una guía de práctica que sirva de ayuda para los estudiantes.

1. 3 JUSTIFICACIÓN

La Escuela Politécnica del Ejército es una institución que busca la excelencia académica, por lo que es vital que el estudiante esté en capacidad de identificar en forma práctica los conocimientos aprendidos en clase.

Los sistemas de transmisión de variable continua comprenden un tema de vital importancia en la asignatura de mecanismos, ya que su tecnología se aplica actualmente en el área.

El laboratorio de mecanismos actualmente posee varios equipos que hacen referencia a los sistemas de transmisión de velocidad con los cuales se ha orientado a los estudiantes en el estudio de las variables que intervienen en dicho proceso; sin embargo el laboratorio actualmente no cuenta con un equipo que guíe en el estudio de la tecnología utilizada por los CVT, razón por la cual es importante que el laboratorio posea instrumentos necesarios para ampliar el conocimiento de los estudiantes y de esta manera hacer de los mismos profesionales competitivos.

1. 4 ALCANCE

La finalidad del presente proyecto es la de diseñar y construir un prototipo de transmisión continua variable de tipo eslabonamiento, el cual trabaje con una velocidad de entrada de 500 rpm, la cual es adecuada para uso didáctico. Además, la carcasa del prototipo será construida en base a un material transparente, para que de esta manera suplir adecuadamente con las inquietudes de los estudiantes en cuanto al funcionamiento de este tipo de sistemas.

Se desarrollará una guía de práctica de laboratorio para los alumnos, que detalle el procedimiento a seguir para la manipulación del equipo, a más de la metodología de la toma de datos y de esta manera el alumno sea capaz de elaborar un informe en el que se pueda evidenciar y evaluar el conocimiento recibido.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2. 1 INTRODUCCIÓN A LOS MECANISMOS

Desde cientos de años atrás, los humanos han construido objetos que tienen o producen cierto tipo de movimiento para satisfacer sus necesidades, mejorar su calidad de vida y para realizar trabajos que sobrepasan su propia capacidad. A estos objetos se los denomina mecanismos y los podemos encontrar en grandes cantidades a nuestro alrededor como por ejemplo: un reloj, una licuadora, una bicicleta, etc.

Los mecanismos son elementos destinados a transmitir y transformar fuerzas y movimientos desde un elemento motriz a un elemento conducido (Mecanismos, 2008). De esta manera permiten al ser humano resolver una necesidad o problema técnico planteado con mayor comodidad y menos esfuerzo.

2. 2 MECANISMOS TRANSFORMADORES DE MOVIMIENTO

2.2. 1 DEFINICIÓN

El tipo de movimiento del elemento de entrada del mecanismo es diferente del tipo de movimiento del elemento de salida, es decir, el tipo de movimiento se transforma en otro distinto (Maquinas y Mecanismos). Este tipo de mecanismos transforman un movimiento circular en un movimiento rectilíneo o viceversa (ESO).

2.3 MECANISMOS TRANSMISORES DE MOVIMIENTO

2.3.1 DEFINICIÓN

Transmiten el movimiento, la fuerza y la potencia producidos por un elemento motriz a otro punto. Se caracterizan porque el tipo de movimiento del elemento de entrada del mecanismo coincide con el tipo de movimiento que tiene el elemento de salida (Mecanismos, 2008).

2.3.1.1 Relación de transmisión

Es un parámetro que aparece cuando hablamos de un sistema de transmisión. Se define como la relación que existe entre las velocidades de rotación de dos engranajes conectados entre sí (Figura 2.1), que se debe básicamente a la diferencia que existe entre los diámetros de las dos ruedas (Figura 2.2), lo que conlleva una diferencia entre las velocidades de giro de ambos ejes.

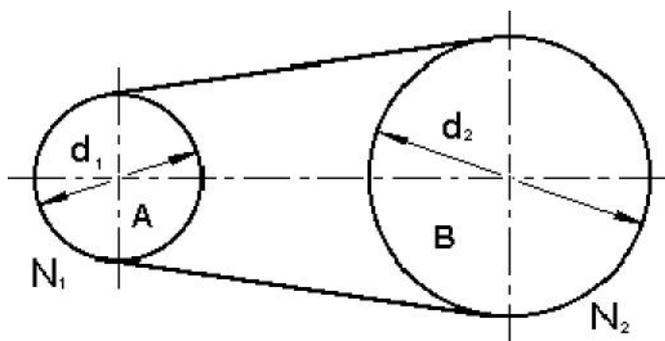


Figura 2.1 Esquema Sistema de poleas

Fuente: Relación de transmisión

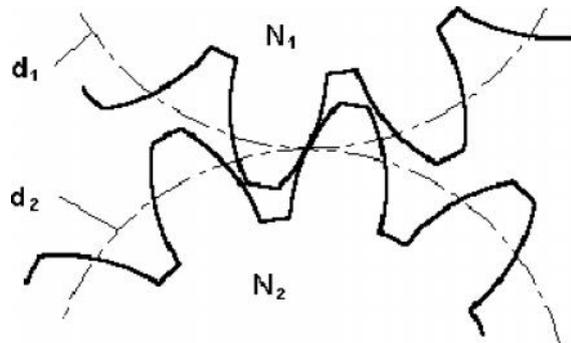


Figura 2. 2 Esquema Sistema de poleas

Fuente: Relación de transmisión

$$i = \frac{N_1}{N_2} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{d_2}{d_1} \quad \text{Ec.2.1}$$

Donde:

N = Número de revoluciones por minuto.

Z = Número de dientes del engrane.

d= Diámetro engranes/poleas

2.3. 2 CLASIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

2.3.2. 1 Mecanismos de transmisión lineal

Estos mecanismos tienen por función principal transmitir linealmente el movimiento y la fuerza del punto de entrada al punto de salida (ESO). Dentro de este tipo de mecanismos podemos encontrar los siguientes:

2.3.2.1. 1 Palanca

Es una barra rígida que gira en torno a un punto de apoyo (Figura 2.3). Al aplicar una fuerza en un extremo de la barra, ésta gira con relación al punto

de apoyo con lo que se logra vencer cierta resistencia ubicada en el extremo contrario de la barra (Mecanismos, 2008).

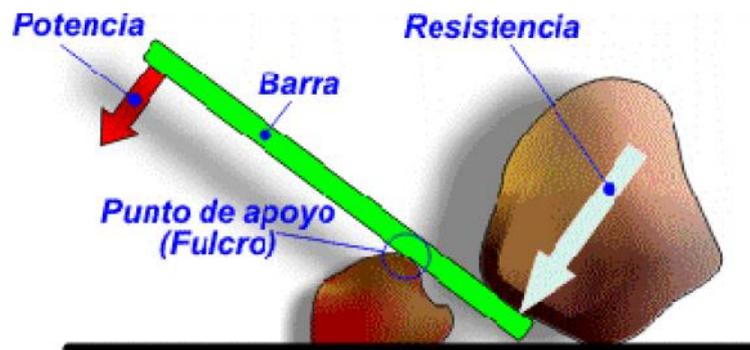


Figura 2. 3 Principio físico de la palanca

Fuente: CEJARO SU, 2005.

“La ley de la palanca dice: Una palanca está en equilibrio cuando el producto de la fuerza F , por su distancia d , al punto de apoyo es igual al producto de la resistencia R por su distancia r al punto de apoyo” (Mecanismos, 2008).

$$F * d = R * r$$

Ec.2.2

Donde:

F = Fuerza aplicada.

d = Distancia de la fuerza aplicada al apoyo.

R = Fuerza debido a la resistencia.

2.3.2.1. 2 Sistemas de Poleas

Las poleas son ruedas acanaladas (Figura 2.4), por la cual se pasa una cuerda que generalmente se las utiliza cuando se necesita elevar cargas

ya que cambian el sentido de la fuerza a aplicar volviendo el trabajo mucho más cómodo (Tiposde.org, 2014).



Figura 2. 4 Polea

Fuente: Ferretería Univérsitas.

La principal ventaja del uso de poleas es que se puede reducir la fuerza necesaria mediante la combinación de varias poleas. Según el número de poleas y su disposición se las puede clasificar de la siguiente manera:

2.3.2.1.2. 1 Polea Fija

Consiste en una sola polea cuyo eje se encuentra fijo en algún lugar (Figura 2.5), por lo que la polea no se desplaza. Al utilizar este tipo de poleas no se gana en fuerza, únicamente se logra cambiar el sentido de la fuerza haciendo más cómodo el levantamiento de cargas (ESO). La fuerza necesaria es igual al peso a levantar.

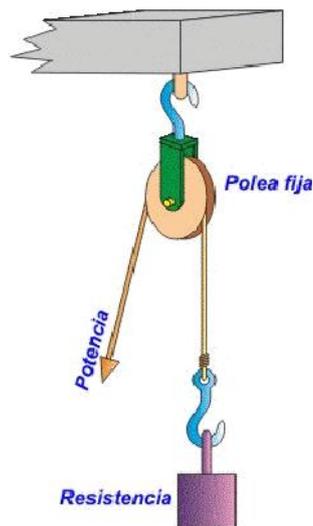


Figura 2. 5 Polea fija

Fuente: Cnice.

2.3.2.1.2. 2 Polea Móvil

Este tipo de polea se encuentra unida a la carga y puede moverse verticalmente a lo largo de la cuerda. El peso del objeto es soportado por ambos segmentos de la cuerda por lo que la fuerza para lograr el equilibrio se divide por dos siempre y cuando las cuerdas estén totalmente paralelas entre ellas (Figura 2.6).

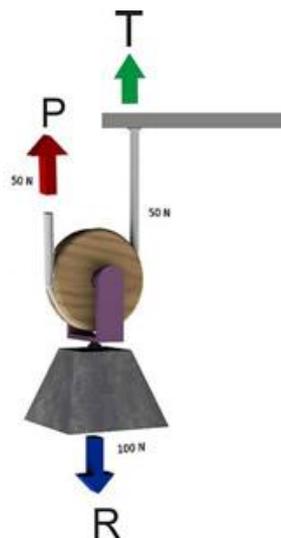


Figura 2. 6 Polea móvil

Fuente: Cnice.

2.3.2.1.2. 3 Polipasto

Es un mecanismo conformado por grupos de poleas fijas y móviles que permiten elevar un gran peso sin la necesidad de realizar un gran esfuerzo (Figura 2.7). La función de las poleas fijas es la de modificar la dirección de la fuerza, mientras que la función de las poleas móviles es la de dividir la carga.

En esta combinación de poleas mientras más se reduce la fuerza necesaria para elevar la carga, menor es su desplazamiento (ESO).

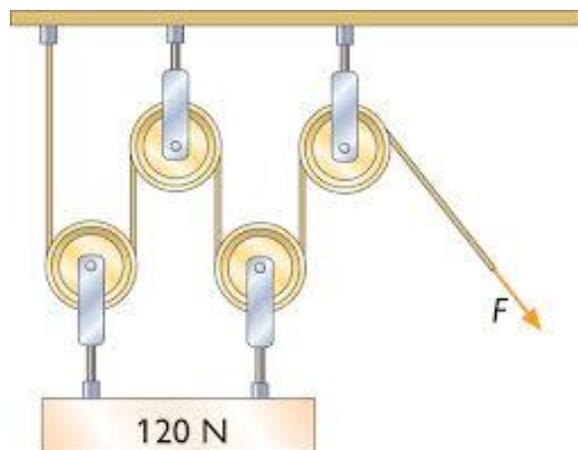


Figura 2.7 Polipasto

Fuente: Salamanca, 2012.

2.3.2. 2 Mecanismos de Transmisión circular

Estos mecanismos transmiten el movimiento, la fuerza y la potencia de manera circular desde el elemento motriz a los elementos receptores (ESO). Entre estos mecanismos se encuentran los trenes de engranajes convencionales, trenes planetarios, tornillo sin fin, CVT, IVT, etc.

2.3.2.2. 1 Poleas con Correa

Es un sistema de transmisión que consta con una polea motriz, una polea conducida y la correa de transmisión (Figura 2.8). Las poleas se encuentran a cierta distancia y giran gracias a la correa de transmisión.

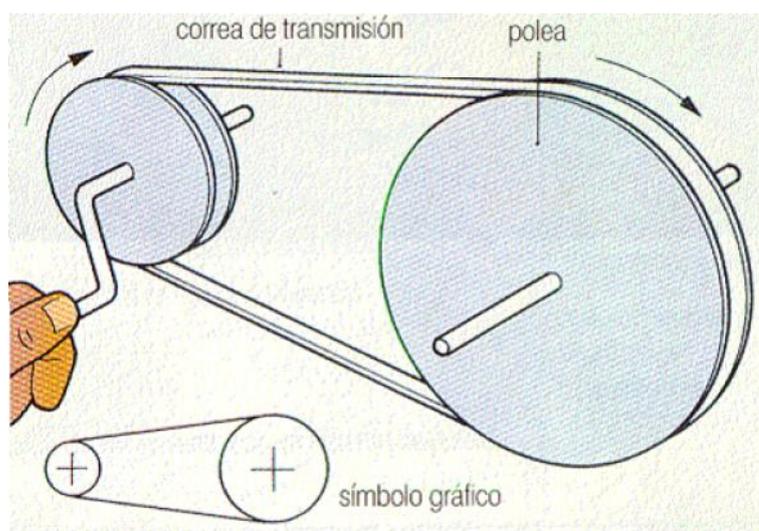


Figura 2. 8 Sistema de transmisión Poleas - Correa

Fuente: Máquinas y Mecanismos.

2.3.2.2. 2 Trenes de engranes

En este tipo de sistemas de transmisión, los elementos principales son ruedas dentadas que están en contacto y que giran solidarias a ejes que se encuentran fijos a la bancada, logrando de esta manera transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes (Figura 2.9). Este tipo de sistema nos permite mantener o invertir el sentido de giro, además que se puede aumentar o disminuir significativamente la velocidad.

De acuerdo al número de engranes existentes en los ejes, estos sistemas se puede clasificar en simples y compuestos.



Figura 2. 9 Tren de engranes

Fuente: Máquinas y Mecanismos.

Trenes de Engranes Simples

Se llama tren de engranes simple cuando existe únicamente un engrane por eje (Figura 2.10). En este tipo de mecanismo es necesario que todas las ruedas dentadas tengan el mismo módulo.

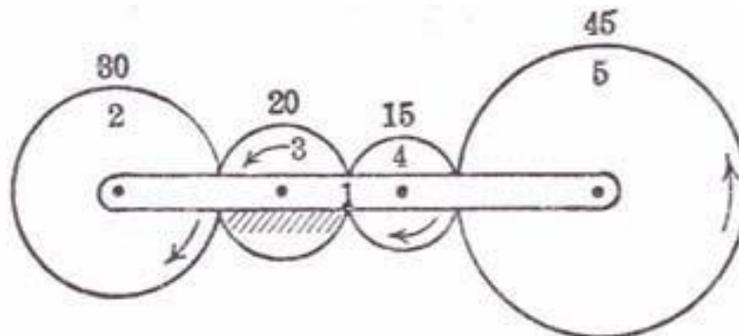


Figura 2. 10 Esquema Tren de Engranes Simple

Fuente: Campos, 2010.

La relación de transmisión en este caso viene dada por la relación de velocidad o número de dientes únicamente de la primera y última rueda dentada.

$$i = \frac{\omega_2}{\omega_6} = \frac{\omega_2}{\omega_3} * \frac{\omega_3}{\omega_4} * \frac{\omega_4}{\omega_5} * \frac{\omega_5}{\omega_6} = \frac{z_3}{z_2} * \frac{z_4}{z_3} * \frac{z_5}{z_4} * \frac{z_6}{z_5} = \frac{z_6}{z_2} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Trenes de Engranes Compuestos

Un tren de engranes es compuesto cuando al menos en uno de los ejes existen más de un engrane que gira solidario a él (Figura 2.11). En este caso, no es necesario que el módulo de los engranes sea el mismo.

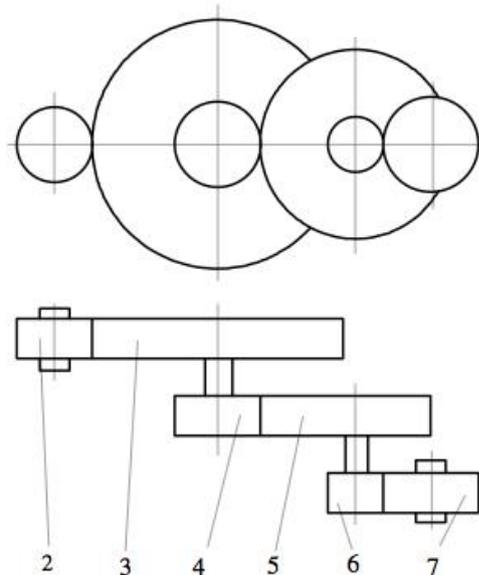


Figura 2. 11 Esquema Tren de Engranes Compuesto

Fuente: Campos, 2010.

La relación de transmisión en este tipo de mecanismo viene dada al relacionar la velocidad angular y número de dientes de cada par de engranes en contacto.

$$\frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{z_3}{z_2}, \frac{\omega_4}{\omega_5} = \frac{z_5}{z_4}, \frac{\omega_6}{\omega_7} = \frac{z_7}{z_6} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Es importante notar que los engranes que se encuentran en mismo eje van a tener la misma velocidad angular, por lo que en términos de velocidad angular la relación de transmisión queda reducida a:

$$W_3 = W_4 \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$W_5 = W_6 \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$i = \frac{W_2}{W_3} * \frac{W_3}{W_5} * \frac{W_5}{W_7} = \frac{W_2}{W_7} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Por otro lado, si tomamos en cuenta el número de dientes de los engranes, la expresión de la relación de transmisión queda de la siguiente manera:

$$i = \frac{Z_3}{Z_2} * \frac{Z_5}{Z_4} * \frac{Z_7}{Z_6} \quad \text{Ec. 2.8}$$

2.3.2.2. 3 Trenes Epicicloidales

A diferencia de los trenes de engranes convencionales, en los trenes epicicloidales los ejes de una o más ruedas son móviles respecto a la bancada.

A este tipo de trenes de engranes se los conoce también como trenes planetarios debido a que las ruedas externas (planetas) rotan alrededor de otra rueda central (sol) presentando así cierta similitud con el movimiento de los planetas en el sistema solar (Figura 2.12).

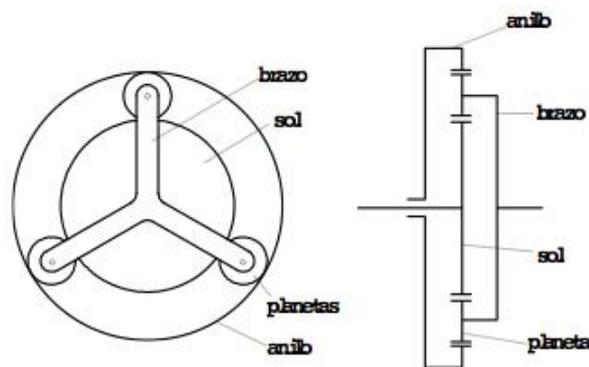


Figura 2. 12 Tren epicycloidal

Fuente: Mora, 2012.

La ventaja fundamental de los engranajes planetarios frente a los engranajes utilizados por las cajas de cambio manuales es que su forma es más compacta y permiten un reparto de par en distintos puntos a través de los satélites, pudiendo transmitir pares más elevados.

Se pueden encontrar dos tipos de trenes epicycloidales que son:

Sistema Simpson

Consisten en dos trenes de planetarios que comparten los planetarios y un árbol de salida (Figura 2.13). Esta integración de los planetarios comunes ofrece una clasificación adicional del conjunto denominándolo también planetario compuesto.

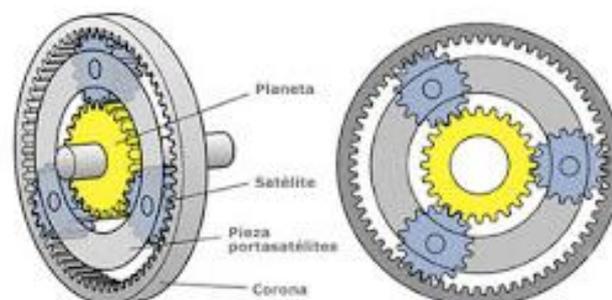


Figura 2. 13 Tren epicycloidal de Simpson

Fuente: Mora, 2012.

Sistema Ravigneaux

La principal diferencia con el sistema Simpson es que posee tres conjuntos de satélites dobles, cada conjunto de satélites está compuesto por un piñón corto y otro largo y dos engranajes planetarios independientes que se engranan con los satélites dobles del porta-satélites (Figura 2.14).

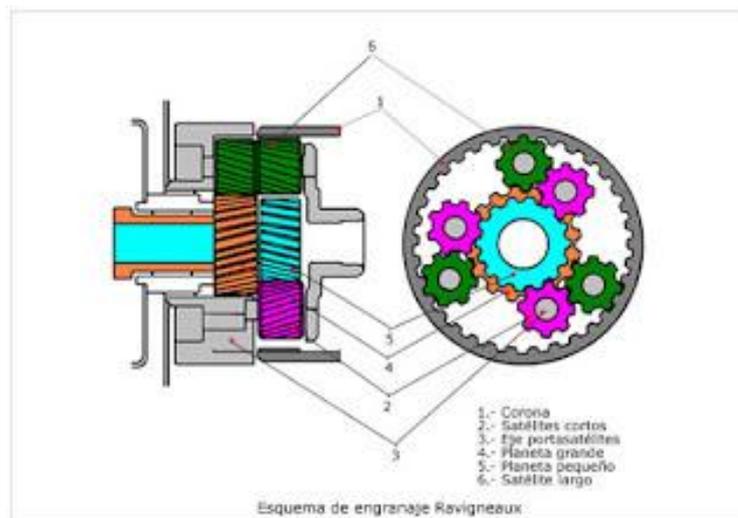


Figura 2. 14 Tren epicycloidal de Ravigneaux

Fuente: Mora, 2012.

2.3.2.2. 4 CVT

El tema se desarrollará a detalle en el subcapítulo 2.4

2.3.2.2. 5 IVT

Un IVT es una variante de las CVT, la cual a diferencia de las CVT, provee de un rango completo de relaciones de transmisión, las cuales van desde marcha atrás, estacionario, velocidades extremadamente lentas, llegando hasta velocidades muy altas. Esto se logra mediante la combinación de CVT más un tren epicycloidal o planetario (Figura 2.15).

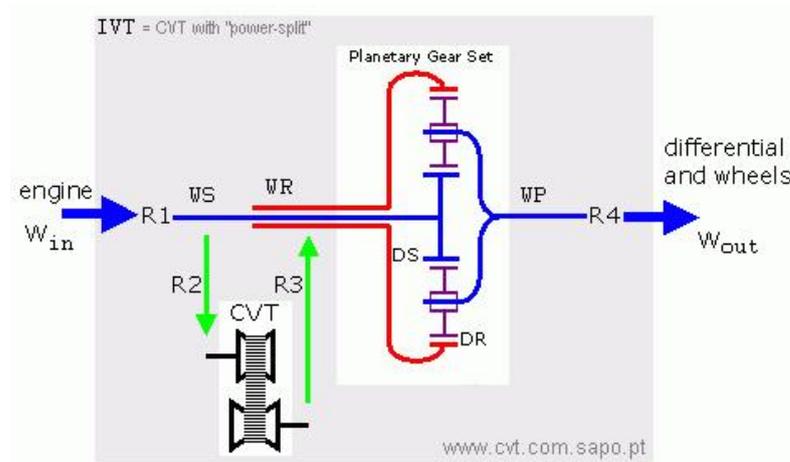


Figura 2. 15 Esquema de IVT

Fuente: How to convert a CVT into a IVT, 2008.

2.3. 3 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Existen una gran cantidad de aplicaciones para los sistemas de transmisión de movimiento. Se puede encontrar en mayor número en la industria pero también podemos encontrarlos en nuestro hogar y en el día a día.

Algunas de las principales aplicaciones de los sistemas de transmisión son:

- Automóviles:

Dentro de un automóvil podemos encontrar varias aplicaciones de los sistemas de transmisión como por ejemplo la caja de velocidades, el diferencial, el sistema de bandas distribuidoras, el conjunto tornillo sin fin-cremallera de la dirección, etc. (Figura 2.16).

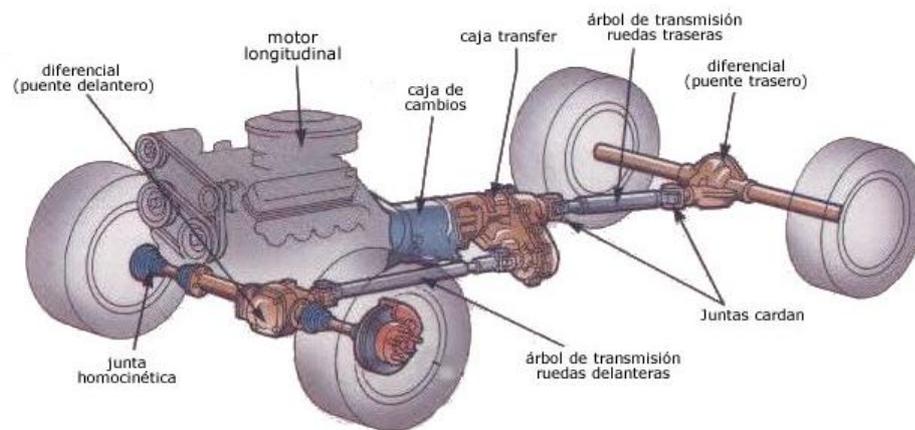


Figura 2. 16 Sistemas de transmisión de un vehículo

Fuente: Garzón, 2013.

- Bicicletas:

En este medio de transporte podemos encontrar un sistema de transmisión bastante simple que consiste en una cadena y un conjunto de ruedas dentadas llamadas catalinas (Figura 2.17).



Figura 2. 17 Sistemas de transmisión de una bicicleta

Fuente: Basqueseaux.

- Cajas reductoras:

Las cajas reductoras es uno de los sistemas de transmisión más utilizados en la industria ya que en muchas de las maquinas se necesita reducir la velocidad y potencia que el motor entrega a la misma. Las cajas reductoras consisten en un grupo de engranes que tienen una combinación específica para lograr obtener la velocidad deseada (Figura 2.18).



Figura 2. 18 Caja reductora

Fuente: Rosario Jeep, 2007.

2. 4 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE VELOCIDAD CONTINUA VARIABLE (CVT)

2.4. 1 DEFINICIÓN DE CVT

La transmisión continua variable o CVT en inglés (Figura 2.19), es una transmisión cuya principal característica es que puede ir cambiando en forma continua a través de un número infinito de relaciones de transmisión, contrastando de esta manera con transmisiones convencionales de los

automóviles, las cuales están restringidas a 5 o 6 relaciones de transmisión en su gran mayoría (Palleiro, 2008).

Otra de las características de las CVT es que al usar este tipo de transmisiones, la velocidad de salida no depende directamente de la velocidad motor, por lo que éste trabaja en su punto óptimo de funcionamiento, obteniendo un mayor desempeño y vida útil (Guisasola).



Figura 2. 19 CVT – Poleas de Diámetro Variable

Fuente: Palleiro, 2008

2.4. 2 EVOLUCIÓN DE LOS CVTS

La idea de una transmisión continua variable viene desde tiempos muy antiguos. En 1490 Leonardo da Vinci conceptualizó por primera vez una transmisión variable continua. En 1879 fue inventada la primera transmisión de velocidad variable por parte de Milton Reeves, la cual fue ocupada en un aserradero. Fue en 1896 cuando fue aplicada en la industria automotriz (Webacademia). Estas primeras transmisiones eran sencillos mecanismos de fricción que consistían en un disco plano que transmitía la fuerza del

motor y una rueda encargada de transmitir el movimiento a las ruedas (Figura 2.20), y que al ésta ser desplazada sobre el disco permitía variar progresivamente la velocidad de salida (Jiménez, 2007).

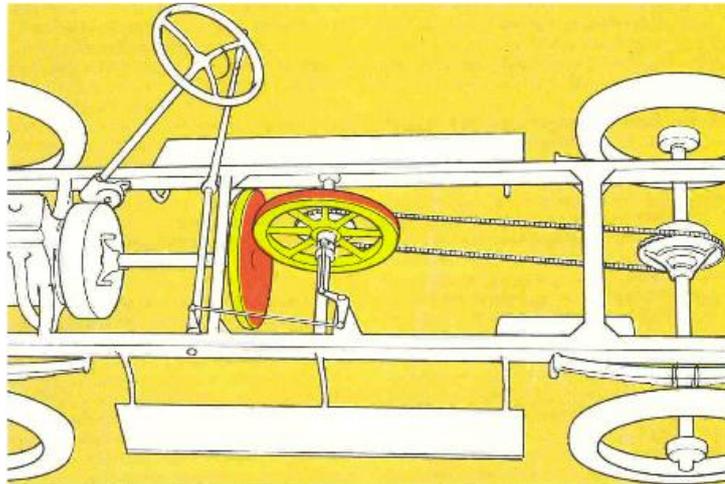


Figura 2. 20 Primeras aplicaciones de un CVT en un vehículo

Fuente: Guisasola

En 1923, George Constantinesco inventó una CVT de masas inerciales (Figura 2.21), la cual en 1926 fue parte integral de un automóvil con un motor de 2 cilindros (Wikipedia, 2013).

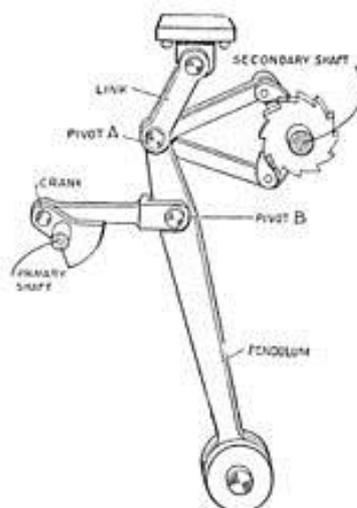


Figura 2. 21 Contantinesco

Fuente: Thompson, 2009.

Para finales de los años 50, la empresa Van Doorne ya producía CVT para vehículos pequeños llamado Variomatic (Figura 2.22). Este sistema consistía en 2 poleas cónicas que estaban unidas por una correa en V de caucho cuya función era la de transmitir la potencia. Este tipo de CVT presentó serios inconvenientes como la pérdida de fuerza y relativa poca vida útil debido al material del cual estaba elaborada la correa (Dufey, Kreps, Hernandez, & Reyes, 2014).

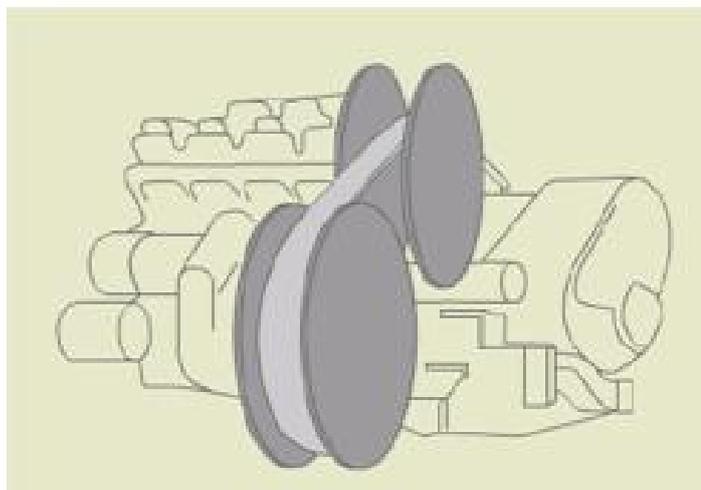


Figura 2. 22 CVT - Variomatic

Fuente: Guisasola

En el año de 1965 la compañía Wheel Horse Products, Inc introdujo una clase de CVT al mercado. Este nuevo tipo de CVT era hidráulico ya que constaba de una bomba de desplazamiento variable de placa oscilante y un motor hidráulico de engranes de desplazamiento fijo. Este tipo de CVT fue utilizado en minitractores para jardinería (Wikipedia, 2013).

Alguno años después, en febrero de 1987, la compañía fabricante de automóviles Subaru lanzó al mercado un auto con una CVT controlada electrónicamente llamada ECVT, en la cual se había sustituido la correa de caucho por una de acero (Figura 2.23) (Wikipedia, 2013). La parte electrónica de la CVT permitía controlar de una mejor manera el movimiento

de apertura y cierre de las poleas, logrando así un mejor respuesta a la aceleración y desaceleración de los conductores (Jiménez, 2007).

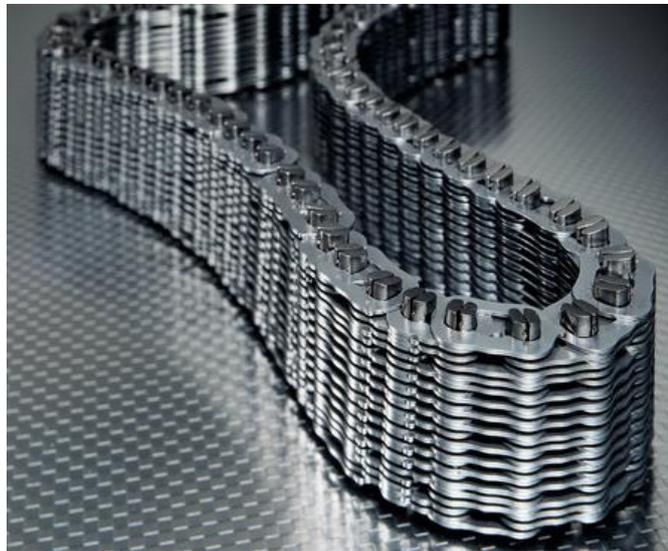


Figura 2. 23 Correa de Transmisión de acero

Fuente: Palleiro, 2008.

Para finales de los años 90, Nissan, una de las grandes de la industria automovilística, ya había diseñado su propio tipo de CVT, el cual era capaz de transmitir un mayor torque. El tipo de CVT que Nissan utilizaba en sus vehículos en un principio era Toroidal el cual basa su funcionamiento en rodillos, hasta en el año 2006, en busca de una reducción significativa en la producción de CO₂ por quema de combustible, presentaron un nuevo sistema CVT llamado Xtronic CVT Technology (Figura 2.24) (Wikipedia, 2013).



Figura 2. 24 CVT Nissan Xtronic

Fuente: Palleiro, 2008.

Con el transcurrir de los años, algunas otras empresas fabricantes de automóviles tales como Honda, Mitsubishi, Ford, etc. han empezado a utilizar las transmisiones continuas variables en sus modelos, por lo que todo parece apuntar a que en un futuro no muy lejano las CVT serán los principales sistemas de transmisión dentro de las principales industrias.

2.4. 3 TIPOS DE CVT

2.4.3. 1 Poleas de Diámetro Variable

Este tipo de CVT es uno de los más comunes en la actualidad en donde los principales elementos del sistema son 2 poleas de diámetro variable conjuntamente y una correa de transmisión (Figura 2.25). Una de las poleas se encuentra acoplada al eje de entrada y la otra al eje de salida, mientras que la correa es la encargada de la transmisión del movimiento (CVT transmission, 2008).

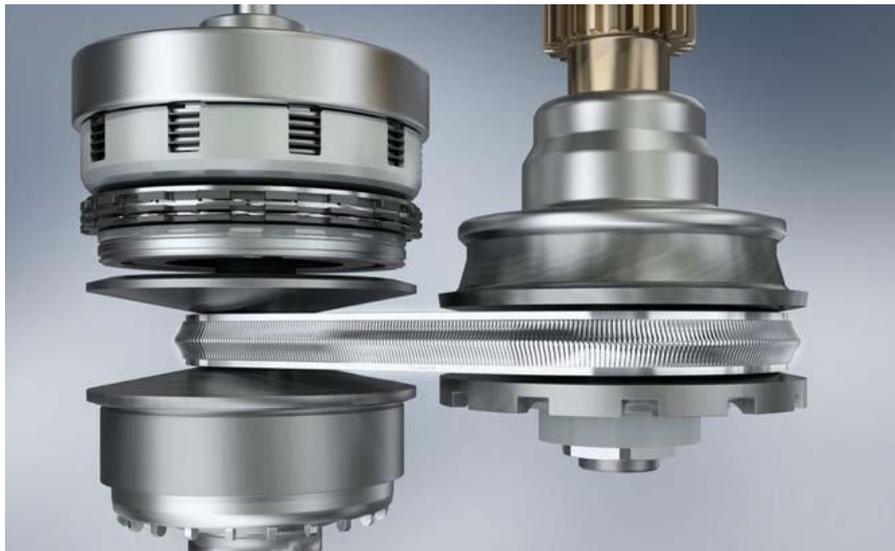


Figura 2. 25 CVT- Poleas de Diámetro Variable

Fuente: Crowe, 2013

El cambio entre las infinitas relaciones de transmisión se logra cuando las poleas varían su diámetro de acuerdo a los requerimientos del conductor, el cual mediante el acelerador va variando los requerimientos de torque y velocidad (Figura 2.26).

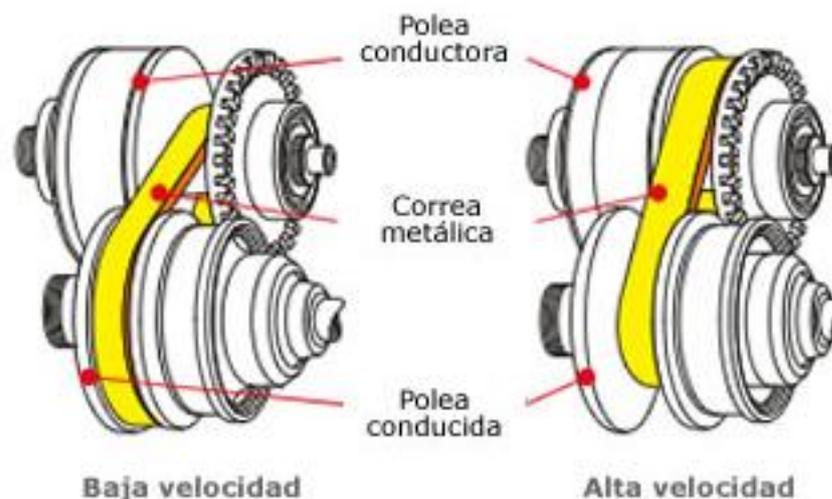


Figura 2. 26 Esquema cambio de Diámetro Poleas de un CVT

Fuente: Wikipedia, 2013.

Uno de los principales avances tecnológicos que se han desarrollado para este tipo de CVT es el cambio del material del cual está hecha la correa de transmisión. Años atrás, las correas de transmisión eran fabricadas de caucho (Figura 2.27), por lo que el torque que se podía transmitir era limitado. Actualmente, gracias a la introducción de nuevos materiales en su diseño, las correas de transmisión son fabricadas de metal (Figura 2.28), logrando de esta manera mucho menor ruido y que los CVT sean mucho más eficientes y confiables (Harris).



Figura 2. 27 Correa de transmisión fabricada de caucho

Fuente: Bonnier Corp, 2014.



Figura 2. 28 Correa de transmisión fabricada de acero

Fuente: Crowe, 2013.

2.4.3. 2 CVT Toroidal

Los CVT de tipo Toroidal está compuesto por discos y rodillos que son los encargados de transmitir el torque del motor entre los discos (Figura 2.29).

A pesar de que este sistema aparentemente es completamente diferente a los CVT de poleas de diámetro variable, el principio de funcionamiento de ambos sistemas es prácticamente el mismo. Un disco está conectado al eje del motor, mientras que el otro disco está conectado al eje de salida. Los rodillos tienen la misma función que las correas de transmisión, es decir, transmiten el torque proveniente del motor hacia el disco que gira solidario al eje de salida (Harris).

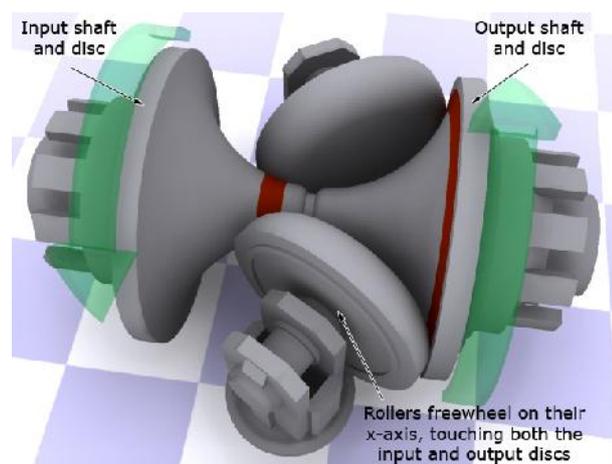


Figura 2. 29 CVT Toroidal

Fuente: Longhurst, 2013.

Los rodillos se pueden mover a lo largo de eje, lo que causa que el rodillo se ponga en contacto con los discos en diferentes zonas con diferente diámetro (Figura 2.30), obteniendo de esta manera un cambio suave de velocidad cero a máxima velocidad (Harris).

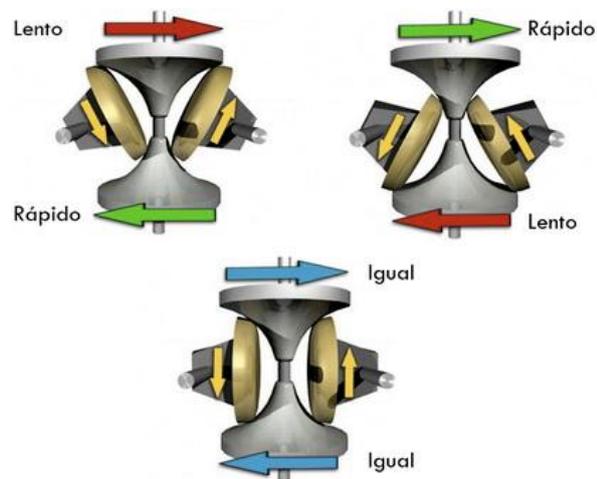


Figura 2. 30 Esquema funcionamiento CVT Toroidal

Fuente: Palleiro,2008.

2.4.3. 3 CVT Cónico

Los CVT cónicos al igual que los CVT de poleas de sección variables, utilizan la fricción entre sus elemento para transmitir el par de torsión del motor al eje de salida (Figura 2.31). El diseño de los CVT cónicos tiene un enfoque puramente mecánico con elementos simples y robustos sin la necesidad de utilizar bombas hidráulicas como se lo hace en algunos otros tipos de CVT.



Figura 2. 31 CVT Rodillos Cónicos

Fuente: Garaget, 2011.

La relación de transmisión varía gracias a que se utiliza una rueda que se mueve a lo largo del rodillo cónico, creando de esta manera una variación entre los diámetros estrechos y anchos de los conos.

2.4.3. 4 CVT Hidrostáticos

Los CVT hidrostáticos a diferencia de los CVT toroidal y de poleas de sección variable, no usan el principio de la transferencia de movimiento y fuerzas mediante fricción. En este tipo de CVT, se utiliza bombas de desplazamiento variable para variar el flujo de fluido en los motores hidrostáticos (Figura 2.32) (Harris).

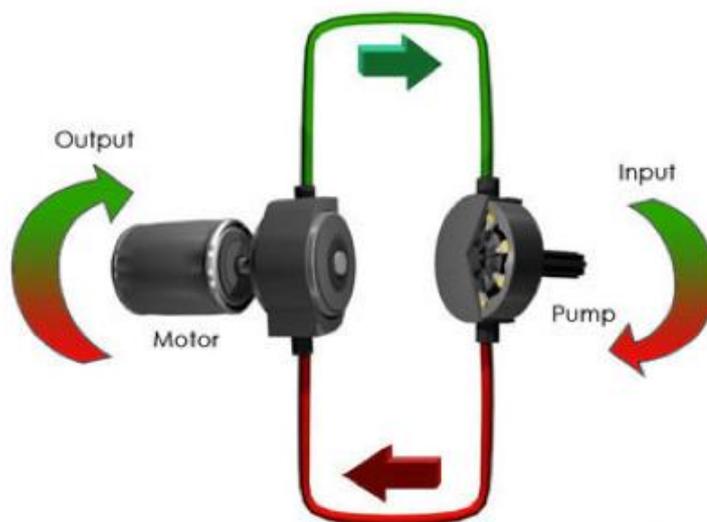


Figura 2. 32 CVT Hidráulico - partes

Fuente: Harris

En las transmisiones que usan este tipo de CVT, gracias al movimiento rotacional del motor, se logra energizar una bomba hidrostática, la cual convierte el movimiento rotacional en flujo de fluido. Este fluido pasa por un motor hidrostático que está conectado al eje de salida, convirtiendo el flujo de fluido proveniente de la bomba en movimiento rotacional al eje de salida (Figura 2.33) (Harris).

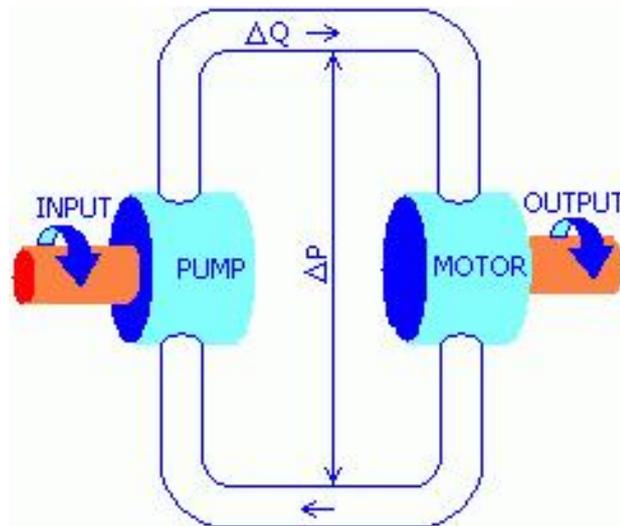


Figura 2. 33 Esquema Funcionamiento CVT Hidráulico

Fuente: CVT- Continuously Variable Transmission, 2008.

Muchas veces este tipo de CVT son combinados con sistemas de engranes planetarios para crear un sistemas híbridos, en los cuales para velocidades bajas la transmisión se realiza hidráulicamente, para velocidades altas la transmisión es mecánica y para valores intermedios la transmisión se la realiza usando ambos sistemas (Harris).

2.4.3. 5 CVT tipo Eslabonamiento

Los CVT de eslabonamientos son también conocidos como CVT de trinquete (Figura 2.34), se caracterizan por convertir un movimiento uniforme en un movimiento alternativo o de vaivén para posteriormente rectificarlo y convertirlo nuevamente en un movimiento bastante uniforme. Esto se logra debido a que existe un mecanismo que produce movimiento alternativo a partir de un movimiento uniforme de entrada, posteriormente se logra rectificar dicho movimiento de vaivén gracias a una rueda libre o embrague unidireccional (Gibbs, 2009).

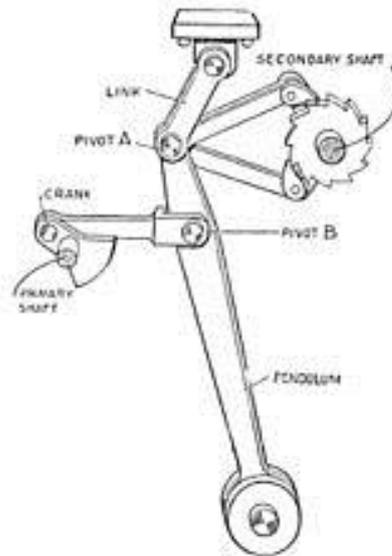


Figura 2. 34 CVT tipo Eslabonamiento (Constantinesco) - partes

Fuente: Thompson, 2009.

Para variar la velocidad de salida en este tipo de CVT, únicamente se tiene que variar la carrera del movimiento alternativo o de vaivén.

Para obtener un movimiento de salida mucho más suave y uniforme en estos CVT se sincronizan varios de los mecanismos mencionados desfasados, logrando de ésta manera rectificar de mejor manera el movimiento (Figura 2.35).

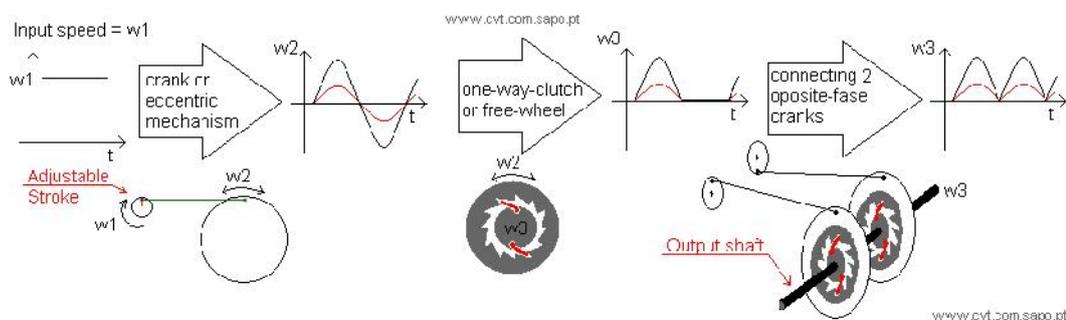


Figura 2. 35 Esquema Funcionamiento CVT tipo Eslabonamiento

Fuente: Ratcheting, CVTs, 2008.

Los CVT tipo eslabonamiento son capaces de transmitir grandes cantidades de torque debido a que su funcionamiento se basa en la fricción estática, la cual se incrementa en relación al torque transmitido, por lo que la eficiencia de estos CVT es mayor que la de los CVT que basan su funcionamiento en la fricción dinámica, en donde se pierde energía en los deslizamientos de las superficies de torsión (Gibbs, 2009).

Las principales dificultades que se presentan en estos CVT son las vibraciones que se presentan y su gran complejidad de diseño (Gibbs, 2009).

Algunos de los ejemplos más importantes de este grupo de CVT son Constantinesco, Lestraneq, etc.

2.4.3. 6 CVT Magnético

Es un nuevo tipo de transmisión continua variable que fue desarrollada en la Universidad de Sheffield en el 2006. Este nuevo tipo de transmisión brinda una relación de transmisión controlable, aunque en un principio su capacidad de transmitir torque era mucho menor que la de los otros tipos de CVT, por lo que su aplicación en la industria era muy limitada. Sin embargo, con los avances de la tecnología se ha logrado que este tipo de CVT lleguen a tener una eficiencia de 99% al momento de transmitir el par de torsión entre el eje de entrada y salida.

Los diseños más recientes utilizan imanes permanentes para transmitir el par entre los ejes (Figura 2.36), por lo que no existe contacto entre las piezas en movimiento, evitando de esta manera el desgaste y la necesidad de lubricación (Setform Limited, 2014).

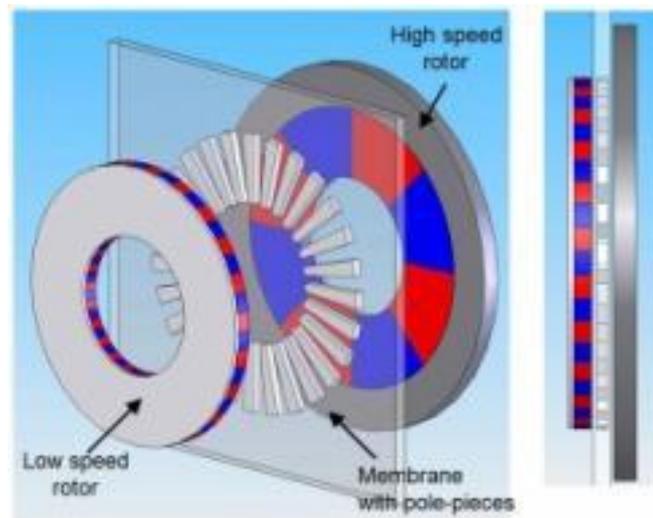


Figura 2. 36 CVT Magnético - partes

Fuente: Setform Limited, 2104.

2.4. 4 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El principio de funcionamiento de los CVT varía según el tipo de CVT, por lo que se analizará el principio de funcionamiento de cada tipo de CVT mencionados anteriormente.

2.4.4. 1 CVT Poleas de Diámetro Variable

El principio de funcionamiento de estas transmisiones consiste en cambiar las relaciones de transmisión del sistema mediante la modificación de la distancia entre los conos que conforman tanto la polea conductora como la polea conducida (Figura 2.37). Cuando la distancia entre dichos conos se agranda, el diámetro de la polea se reduce, mientras que si dicha distancia disminuye, el diámetro de la polea se incrementará (Yao, 2008).

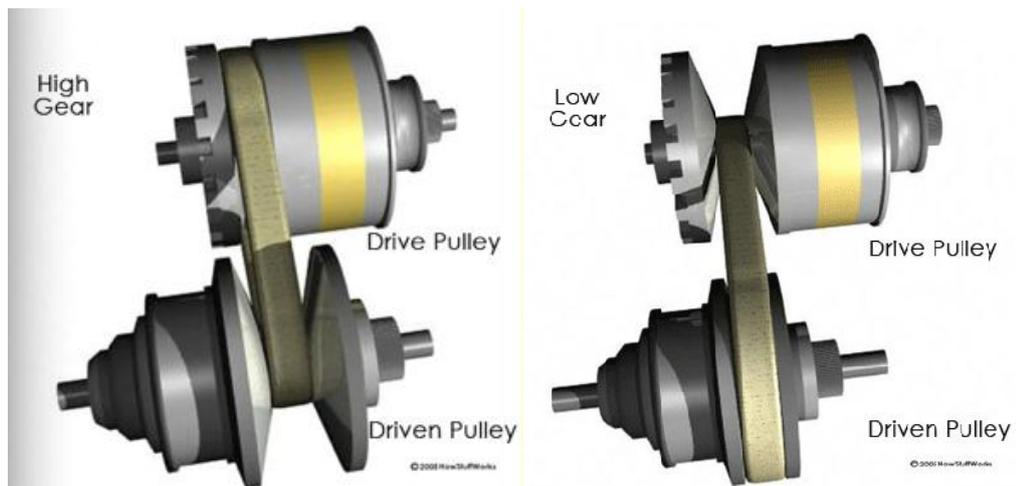


Figura 2. 37 Principio de funcionamiento CVT de Poleas de Diámetro Variable

Fuente: Harris.

La transmisión del par de torsión proveniente del motor se la logra mediante la fricción que existe entre la correa y las superficies de las poleas.

2.4.4. 2 CVT Toroidal

El principio de funcionamiento de estos sistemas es bastante similar al de las transmisiones con poleas de diámetro variable. La diferencia radica en los elementos que se utilizan. Los CVT Toroidales ocupan dos discos en lugar de las poleas y dos ruedas hace las veces de la correa de transmisión (Figura 2.30). Los rodillos giran alrededor de un eje horizontal, además también se inclinan hacia adentro y hacia fuera alrededor de un eje vertical.

La transmisión del torque se logra gracias a la fuerza de fricción que existe entre los discos y los rodillos, así mientras los rodillos hacen contacto con el diámetro más grande del disco motriz, en el disco conducido hacen contacto en el diámetro más pequeño, generando de esta manera una relación de transmisión (Yao, 2008).

2.4.4. 3 CVT Hidráulicos

El principio básico de los CVT hidráulicos es que la potencia del motor es transmitida mediante un flujo de fluido hacia eje de salida. Esto se logra mediante la utilización de una bomba de desplazamiento variable y un motor hidráulico (Figura 2.39). El motor activa la bomba de desplazamiento variable la cual transmite la fuerza al fluido hidráulico, el que su vez transmite la fuerza al motor hidráulico que gira solidario al eje de salida.

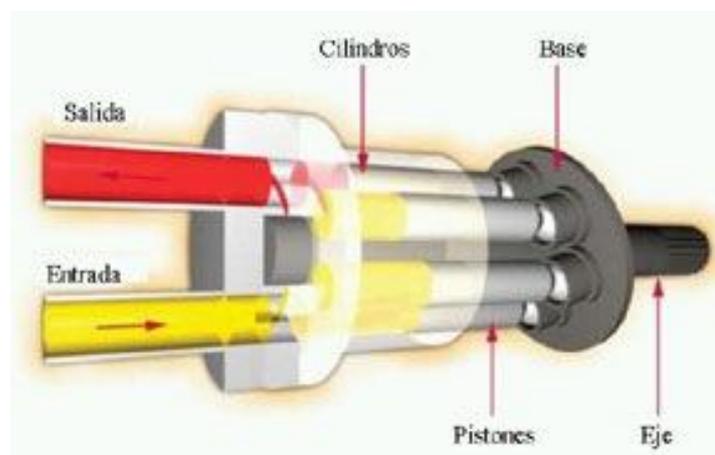


Figura 2. 38 Principio de funcionamiento CVT Hidráulico

Fuente: Widman, 2009.

2.4.4. 4 CVT tipo Eslabonamiento

El principio básico de este tipo de CVT es que la potencia logra ser transferida cuando dos elementos quedan bloqueados momentáneamente gracias a la fricción estática, logrando que de esta manera las superficies conductora y conducida se muevan solidarias sin deslizarse, en la figura 2.35 se observa su principio de funcionamiento.

2.4. 5 VENTAJAS

- Se obtienen un número casi infinito de relaciones de transmisión.
- El Consumo de combustible en automóviles y maquinaria se ve reducido gracias a que el motor trabaja en el régimen más eficiente.
- Una de las ventajas que presentan los CVT en la industria automotriz es que se evitan los movimientos bruscos debidos al cambio de marcha. Esto se logra gracias a que la aceleración es constante y directa, es decir, no existen engranes ni embragues (Widman, 2009).
- Otra de las grandes ventajas de la aplicación de los CVT en los automóviles es la que según el grado de aceleración del conductor, el motor está encuentra controlado para que gire a la velocidad a la cual entrega su eficiencia máxima (Widman, 2009).

2.4. 6 DESVENTAJAS

- Una de las principales desventajas de los CVT de poleas de diámetro variable es que la capacidad de transmitir torque está limitada al material del cual está fabricada la correa de transmisión, así con las correas de acero se logra transmitir mucho más par de torsión que con las correas de caucho (Palleiro, 2008).
- Ciertos diseños de CVT logran transmitir torque únicamente en una dirección por lo que es necesario acoplar otros mecanismos para lograr transmitir el par de torsión en otra dirección (Widman, 2009).
- Automovilísticamente hablando, el estilo de conducción es muy diferente al que la mayoría de las personas están acostumbradas con las transmisiones convencionales, con las cuales el conductor tiene un mayor control del régimen en que el motor trabaja.

CAPÍTULO 3

DISEÑO MECÁNICO DEL PROTOTIPO

3.1 REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES

Para el presente proyecto se plantearon los siguientes requerimientos de diseño:

- La manipulación del prototipo debía ser lo más sencilla posible para los estudiantes, y de esta manera facilitar el aprendizaje y entendimiento del funcionamiento del mismo.
- Presentar un diseño ergonómico con facilidad de ser transportado de un lugar a otro debido a las constantes adecuaciones que se realizan al laboratorio de mecanismos del DECEM.
- Carcasa de acrílico para mayor seguridad de los estudiantes al operar el equipo.
- Sencilla reparación en caso de fallo.
- Mantenimiento simple.

En cuanto a las restricciones se plantearon restricciones de orden geométrico ya que el prototipo no debía superar los 600 mm de largo, 500 mm de ancho y 500 mm de altura, y de esta manera ocupar un espacio adecuado dentro del laboratorio de mecanismos del DECEM.

La velocidad en el eje de entrada del prototipo cambia de 500 rpm a un máximo de 125 rpm para salvaguardar la seguridad de los estudiantes y a su vez la del equipo.

3.2 SELECCIÓN DEL MECANISMO DE TRANSMISION

Después que se estudiaron los distintos tipos de mecanismos de transmisión CVT, se realizó la selección del mecanismo a diseñar, para lo que se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- **Facilidad de uso.-** Este criterio nos ayudó a evaluar la sencillez con la que sería manipulado el equipo por parte de los estudiantes.
- **Reparación sencilla.-** Por causa de alguna mala utilización o desgaste del equipo CVT podría producirse un fallo, por lo que se tomó en cuenta la facilidad con la que podría ser reparado el prototipo, además del factor económico y la rapidez con la que se podría reemplazar la parte afectada.
- **Mantenimiento simple.-** Este criterio evalúa la simplicidad de realización del mantenimiento preventivo del prototipo.
- **Aporte académico.-** Se evaluó este tópico debido a que al ser un medio didáctico que tiene como objetivo el crecimiento académico de los estudiantes del DECEM, es de importancia que el funcionamiento del mecanismo sea lo más explicativo posible y de esta manera lograr que los estudiantes del DECEM adquieran el conocimiento necesario sobre este tipo de sistemas.
- **Disponibilidad de material en el mercado.-** Este tópico fue evaluado para fines constructivos.

Una vez planteados los criterios a evaluar se elaboró la tabla 3.1 tomando en cuenta las siguientes ponderaciones en los criterios dependiendo su importancia para la selección del mecanismo:

Ponderación = 1

Facilidad de uso = 0.2

Reparación sencilla = 0.2

Mantenimiento simple = 0.05

Aporte académico = 0.35

Disponibilidad del material en el mercado = 0.2

Ponderación = $0.2 + 0.2 + 0.05 + 0.35 + 0.2 = 1$

Tabla 3. 1 Matriz de selección de mecanismo

MECANISMOS	Ponderación	ESLABONES		POLEAS CONICAS		ANILLOS TOROIDALES	
		Calificación	Calificación X ponderación	Calificación	Calificación X ponderación	Calificación	Calificación X ponderación
Facilidad de uso	0.2	8	1.6	8	1.6	7	1.4
Reparación Sencilla	0.2	7	1.4	7	1.4	7	1.4
Mantenimiento simple	0.05	8	0.4	6	0.3	5	0.25
Aporte académico	0.35	8	2.8	8	2.8	8	2.8
Disponibilidad de material en el mercado	0.2	8	1.6	6	1.2	6	1.2
TOTAL	1		7.8		7.3		7.05

Fuente: Investigadores

Según los criterios evaluados y las valoraciones de los mismos, se evidenció que el mecanismo que cumple mayormente con los requerimientos

es el mecanismo de transmisión por eslabones, por lo que el diseño se realizó utilizando la transmisión por eslabones.

3.3 DISEÑO GEOMÉTRICO

3.3.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO

Se dimensionaron los eslabones tomando como base el mecanismo de la figura 3.1, la relación existente entre las longitudes de las barras y los ángulos que forman entre sí.

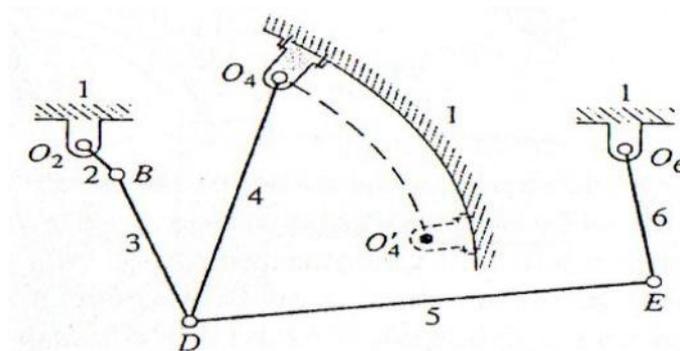


Figura 3. 1 Zero Max drive

Fuente: Mechanics of Machines, W.L. Cleghorn

A partir de la figura 3.1 se realizó el gráfico del mecanismo en el software computacional Autocad, con el cual se obtuvieron las dimensiones que se encuentran en la tabla 3.2.

Tabla 3. 2 Dimensiones de eslabones

Eslabón	Longitud [mm]
R2	3.261
R3	13.502
R4	21.707
R5	30.477
R6	11.485

Fuente: Investigadores

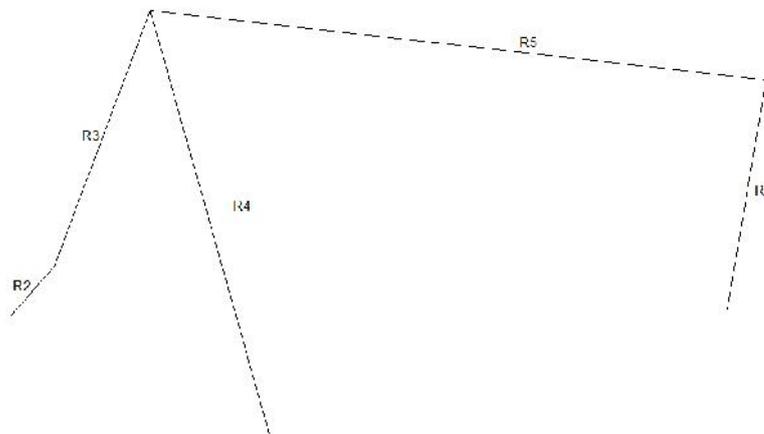


Figura 3. 2 Mecanismo en Autocad

Fuente: Investigadores

Las dimensiones de la tabla 3.2 serán utilizadas para los análisis descritos posteriormente, para fines constructivos se escalarán y ajustarán a los requerimientos del diseño manteniendo las relaciones de longitudes.

3.3.1.1 Análisis de Posición

Para la obtención de las ecuaciones paramétricas del mecanismo, se realizó el gráfico de la figura 3.3:

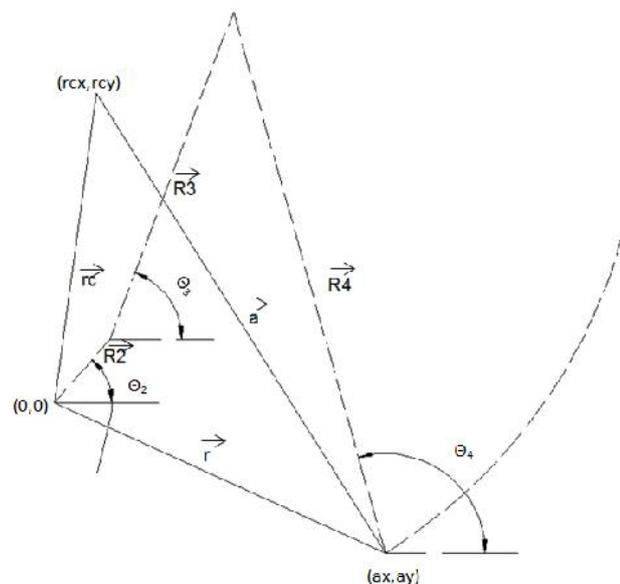


Figura 3. 3 Vector auxiliar para obtención de ecuaciones paramétricas

Fuente: Investigadores

Se realiza la sumatoria de vectores.

$$\vec{rc} + \vec{a} = \vec{r} \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$\vec{rc} + \vec{a}.e^{i\alpha} = \vec{r}$$

$$(\overline{rcx} - 0) + (\overline{rcy} - 0)1.i + \vec{a}.e^{i\alpha} = \vec{r}$$

$$(\overline{rcx} - \overline{rcy}.1.i) + [(\overline{ax_0} - \overline{rcx}) + (\overline{ay_0} - \overline{rcy}).1.i].e^{i\alpha} = \vec{r} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Descomponiendo el vector \vec{r} y realizando la suma vectorial.

$$\vec{R2} + \vec{R3} = \vec{rx} + \vec{ry} + \vec{R4} \quad \text{Ec. 3.3}$$

Separando la parte real de la parte imaginaria se tiene

$$R2.\cos\theta_2 + R3.\cos\theta_3 = rx + R4.\cos\theta_4 \quad \left. \vphantom{R2.\cos\theta_2 + R3.\cos\theta_3 = rx + R4.\cos\theta_4} \right\} \quad \text{Ec. 3.4}$$

$$R2.\sin\theta_2.i + R3.\sin\theta_3.i = ry.i + R4.\sin\theta_4.i \quad \left. \vphantom{R2.\sin\theta_2.i + R3.\sin\theta_3.i = ry.i + R4.\sin\theta_4.i} \right\} \quad \text{Ec. 3.5}$$

$$\left. \begin{aligned} R3.\cos\theta_3 &= rx + R4.\cos\theta_4 - R2.\cos\theta_2 \\ (R3.\sin\theta_3 &= ry + R4.\sin\theta_4 - R2.\sin\theta_2).i \end{aligned} \right\}$$

Elevando al cuadrado y sumando

$$\begin{aligned} R3^2 &= \\ rx^2 + ry^2 + R4^2 - 2.rx.R4.\cos\theta_4 - 2.rx.R2.\cos\theta_2 - 2.R2.R4.\cos\theta_4.\cos\theta_2 + \\ &+ 2.ry.R4.\sin\theta_4 - 2.ry.R2.\sin\theta_2 - 2.R4.R2.\sin\theta_4.\sin\theta_2 \end{aligned}$$

k1

$$0 = \overbrace{(R4^2 + R2^2 - rx^2 - ry^2 - R3^2)}^{k1} - 2.R4(rx.\cos\theta_4 + ry.\sin\theta_4) - 2.R2(rx.\cos\theta_2 + ry.\sin\theta_2) - 2.R4.R2(\cos\theta_4.\cos\theta_2 + \sin\theta_4.\sin\theta_2)$$

Ec. 3.6

Se utilizan las siguientes identidades trigonométricas en función de la tangente del ángulo mitad:

$$\cos \theta_4 = \frac{1 - x^2}{1 + x^2}$$

$$\sin \theta_4 = \frac{2 \cdot x}{1 + x^2}$$

$$x = \tan \frac{\theta_4}{2}$$

Ec. 3.7

Se reemplazan en la ecuación 3.6

$$0 =$$

$$k1 - 2 \cdot R4 \left(rx \cdot \frac{1-x^2}{1+x^2} + ry \cdot \frac{2x}{1+x^2} \right) - 2 \cdot R2 (rx \cdot \cos \theta_2 + ry \sin \theta_2) - 2 \cdot R4 \cdot R2 \left(\frac{1-x^2}{1+x^2} \cdot \cos \theta_2 + \frac{2x}{1+x^2} \cdot \sin \theta_2 \right)$$

Se multiplica y agrupa por factor común

$$0 = (k1 - 2 \cdot R4 \cdot rx - 2 \cdot R2 \cdot rx \cdot \cos \theta_2 - 2 \cdot R2 \cdot ry \cdot \sin \theta_2 - 2 \cdot R4 \cdot R2 \cdot \cos \theta_2) \cdot x^2 + (4 \cdot R4 \cdot ry - 4 \cdot R4 \cdot R2 \cdot \sin \theta_2) \cdot x + (k1 + 2 \cdot R4 \cdot rx - 2 \cdot R2 \cdot rx \cdot \cos \theta_2 - 2 \cdot R2 \cdot ry \cdot \sin \theta_2 - 2 \cdot R4 \cdot R2 \cdot \cos \theta_2)$$

Ec. 3.8

Aplicando fórmula de resolución de la ecuación de segundo grado

$$A = (k1 - 2 \cdot R4 \cdot rx - 2 \cdot R2 \cdot rx \cdot \cos \theta_2 - 2 \cdot R2 \cdot ry \cdot \sin \theta_2 - 2 \cdot R4 \cdot R2 \cdot \cos \theta_2) \cdot x^2$$

$$B = (4 \cdot R4 \cdot ry - 4 \cdot R4 \cdot R2 \cdot \sin \theta_2) \cdot x$$

$$C = (k1 + 2 \cdot R4 \cdot rx - 2 \cdot R2 \cdot rx \cdot \cos \theta_2 - 2 \cdot R2 \cdot ry \cdot \sin \theta_2 - 2 \cdot R4 \cdot R2 \cdot \cos \theta_2)$$

$$x = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}$$

Ec. 3.9

Despejando θ_4 de la ecuación 3.7 y reemplazando el valor de x de la ecuación 3.9 obtenemos:

$$\theta_4 = 2 \cdot \text{atan} \left(\frac{-B - \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A} \right)$$

Ec. 3.10

Despejando θ_3 de la ecuación 3.4 y evaluando el valor de θ_4 de la ecuación 3.10

$$\theta_3 = \arccos\left(\frac{R_1 + R_4 \cdot \cos \theta_4 - R_2 \cdot \cos \theta_2}{R_3}\right) \quad \text{Ec. 3.11}$$

Para el caso de los eslabones 5 y 6, el análisis tiene como base la gráfica siguiente.

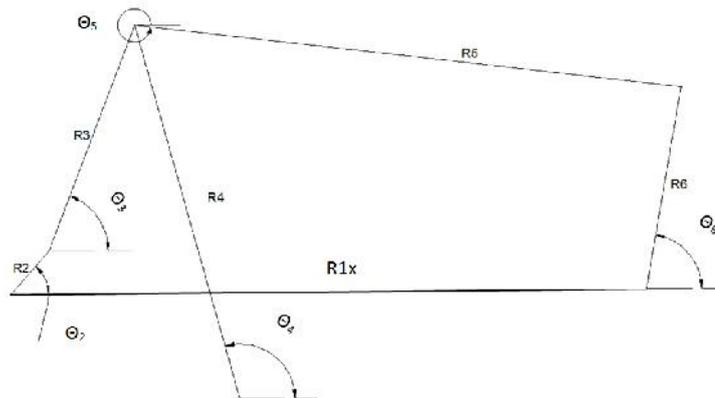


Figura 3. 4 Mecanismo completo para obtención de ecuaciones paramétricas

Fuente: Investigadores

Se realiza la suma de vectores

$$\vec{R2} + \vec{R3} + \vec{R5} = \vec{R1x} + \vec{R6} \quad \text{Ec. 3.12}$$

Separando la parte real y la parte imaginaria se tiene

$$R2 \cdot \cos \theta_2 + R3 \cdot \cos \theta_3 + R5 \cdot \cos \theta_5 = R1x + R6 \cdot \cos \theta_6 \quad \text{Ec. 3.13}$$

$$R2 \cdot \sin \theta_2 \cdot i + R3 \cdot \sin \theta_3 \cdot i + R5 \cdot \sin \theta_5 \cdot i = R6 \cdot \sin \theta_6 \cdot i \quad \text{Ec. 3.14}$$

$$R5 \cdot \cos \theta_5 = R1x + R6 \cdot \cos \theta_6 - R2 \cdot \cos \theta_2 - R3 \cdot \cos \theta_3$$

$$R5 \cdot \sin \theta_5 \cdot i = R6 \cdot \sin \theta_6 \cdot i - R2 \cdot \sin \theta_2 \cdot i - R3 \cdot \sin \theta_3 \cdot i$$

Elevando al cuadrado y sumando la ecuación 3.13 y ecuación 3.14

$$\begin{aligned}
R5^2 = & \\
& R1x^2 + 2.R1x.R6.\cos\theta_6 - \\
& 2.R1x.R2.\cos\theta_2 - 2.R1x.R3.\cos\theta_3 + R6^2.(\cos\theta_6)^2 - 2.R2.R6.\cos\theta_6.\cos\theta_2 - \\
& 2.R6.R3.\cos\theta_3.\cos\theta_6 - R2^2.(\cos\theta_2)^2 + \\
& 2.R2.R3.\cos\theta_3.\cos\theta_2 + R3^2.(\cos\theta_3)^2 + R6^2.(\sin\theta_6)^2 - \\
& 2.R2.R6.\sin\theta_6.\sin\theta_2 - 2.R6.R3.\sin\theta_3.\sin\theta_6 + R2^2.(\sin\theta_2)^2 + \\
& 2.R2.R3.\sin\theta_3.\sin\theta_2 + R3^2.(\sin\theta_3)^2
\end{aligned}$$

Ec. 3.15

Se utilizan las siguientes identidades trigonométricas en función de la tangente del ángulo mitad:

$$\begin{aligned}
\cos\theta_4 &= \frac{1-z^2}{1+z^2} \\
\sin\theta_4 &= \frac{2z}{1+z^2} \\
z &= \tan\frac{\theta_4}{2}
\end{aligned}$$

Ec. 3.16

Reemplazando en ecuación 3.15

$$\begin{aligned}
0 = & \overbrace{R3^2 + R2^2 + R1x^2 + R6^2 + R5^2}^{k2} - 2.R1x.R6.\left(\frac{1-z^2}{1+z^2}\right) - 2.R2.R1x.\cos\theta_2 - \\
& 2.R3.R1x.\cos\theta_3 - 2.R6.R2.\cos\theta_2.\left(\frac{1-z^2}{1+z^2}\right) - 2.R6.R3.\cos\theta_3.\left(\frac{1-z^2}{1+z^2}\right) + \\
& 2.R2.R3.\cos\theta_3.\cos\theta_2 - 2.R6.R2.\sin\theta_2.\left(\frac{2z}{1+z^2}\right) - 2.R6.R3.\sin\theta_3.\left(\frac{2z}{1+z^2}\right) + \\
& 2.R2.R3.\sin\theta_3.\sin\theta_2
\end{aligned}$$

Se multiplica y agrupa por factor común

$$\begin{aligned}
0 = & \\
& (k2 - 2.R1x.R6 - 2.R2.R1x.\cos\theta_2 - 2.R1x.R3.\cos\theta_3 + 2.R6.R2.\cos\theta_2 + \\
& 2.R2.R3.\cos\theta_3.\cos\theta_2 + 2.R2.R3.\sin\theta_3.\sin\theta_2 + 2.R6.R3.\cos\theta_3).z^2 + \\
& (-4.R4.R2.\sin\theta_2 - 4.R6.R3.\sin\theta_3).z + (k2 + 2.R1x.R6 - \\
& 2.R1x.R2.\cos\theta_2 - 2.R1x.R3.\cos\theta_3 - 2.R6.R2.\cos\theta_2 - 2.R6.R3.\cos\theta_3 + \\
& 2.R2.R3.\cos\theta_2.\cos\theta_3 + 2.R2.R3.\sin\theta_2.\sin\theta_3)
\end{aligned}$$

Ec. 3.17

Aplicando fórmula de resolución de la ecuación de segundo grado

$$D = (k^2 - 2.R1x.R6 - 2.R2.R1x.\cos\theta_2 - 2.R1x.R3.\cos\theta_3 + 2.R6.R2.\cos\theta_2 + 2.R2.R3.\cos\theta_3.\cos\theta_2 + 2.R2.R3.\sin\theta_3.\sin\theta_2 + 2.R6.R3.\cos\theta_3).z^2$$

$$E = (-4.R4.R2.\sin\theta_2 - 4.R6.R3.\sin\theta_3).z$$

$$F = (k^2 + 2.R1x.R6 - 2.R1x.R2.\cos\theta_2 - 2.R1x.R3.\cos\theta_3 - 2.R6.R2.\cos\theta_2 - 2.R6.R3.\cos\theta_3 + 2.R2.R3.\cos\theta_2.\cos\theta_3 + 2.R2.R3.\sin\theta_2.\sin\theta_3)$$

$$z = \frac{-E - \sqrt{E^2 - 4.D.F}}{2.D} \quad \text{Ec. 3.18}$$

Despejando θ_6 de la ecuación 3.16 y reemplazando el valor de z de la ecuación 3.18

$$\theta_6 = 2.\text{atan}\left(\frac{-E - \sqrt{E^2 - 4.D.F}}{2.D}\right) \quad \text{Ec. 3.19}$$

Despejando θ_5 de la ecuación 3.14 y evaluando el valor de θ_6 de la ecuación 3.19

$$\theta_5 = \text{asin}\left(\frac{R6.\sin\theta_6 - R2.\sin\theta_2 - R3.\sin\theta_3}{R5}\right) \quad \text{Ec. 3.20}$$

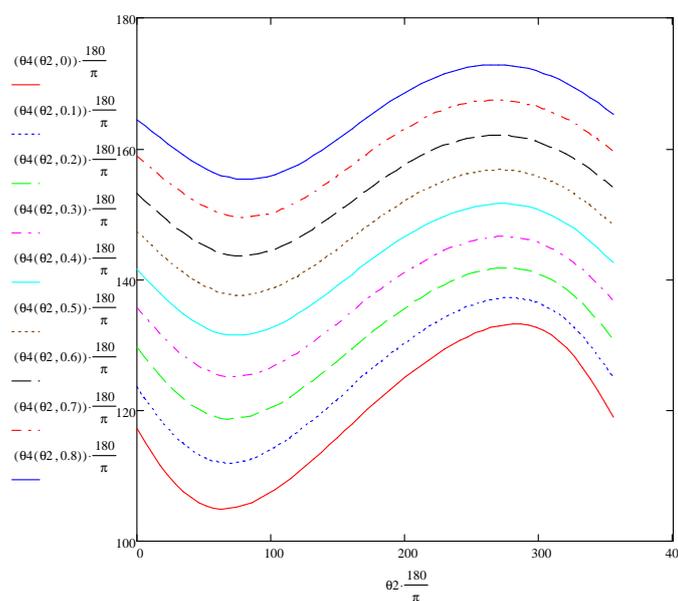
Para la obtención de gráficas se utilizó el software computacional Mathcad 14 por su facilidad de utilización y confiabilidad, las variables declaradas con sus respectivas nomenclaturas se detallan continuación en la tabla 3.3; el programa completo se encuentra en el Anexo A.

Tabla 3. 3 Nomenclatura utilizada para cálculos en Mathcad

Nomenclatura	Descripción	Valor
rcx	Coordenada en x de punto final del vector rc	1.636
rcy	Coordenada en y de punto final del vector rc	11.941
ax0	Coordenada en x de punto final del vector r	12.723
ay0	Coordenada en y de punto final del vector r	-5.806

A se gráficas posición.

Fuente: Investigadores



continuación encuentran las del análisis de

Figura 3. 5 Variación ángulo θ_4 en función del tiempo

Fuente: Investigadores

La figura 3.5 muestra la variación del ángulo θ_4 para distintas posiciones del ángulo θ_2 con la cual se observa el comportamiento a través del tiempo.

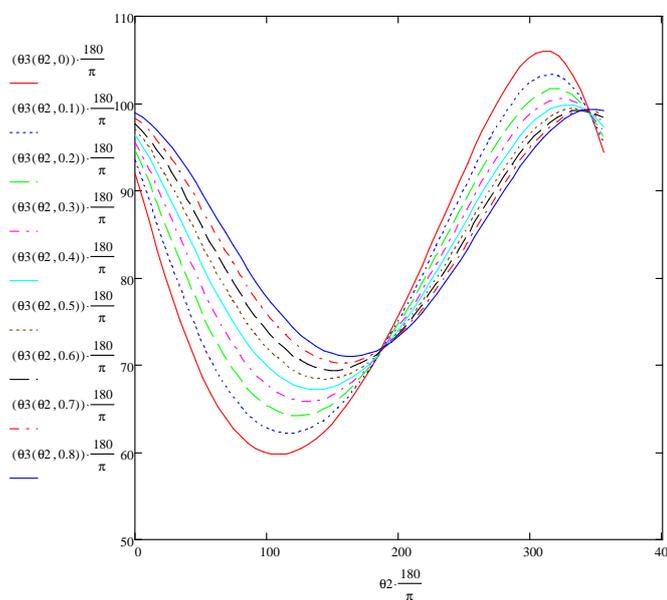


Figura 3. 6 Variación ángulo θ_3 en función del tiempo

Fuente: Investigadores

La figura 3.6 muestra la variación del ángulo θ_3 para distintas posiciones del ángulo θ_2 con la cual se observa el comportamiento a través del tiempo.

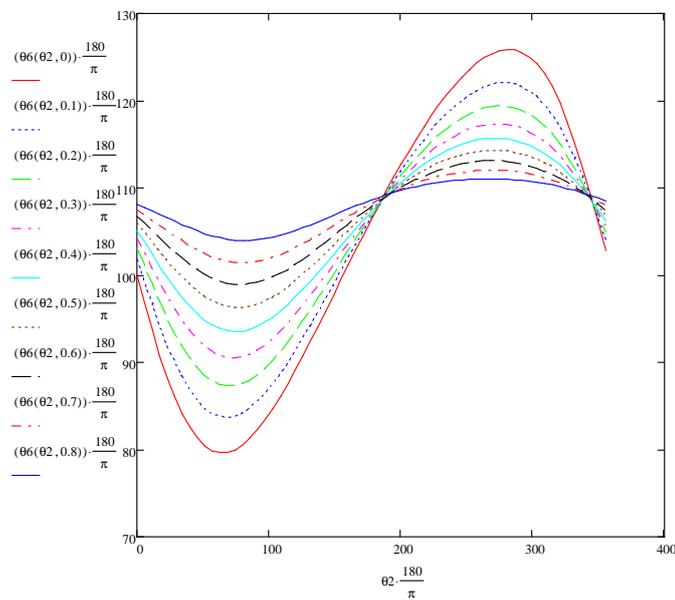


Figura 3. 7 Variación ángulo θ_6 en función del tiempo

Fuente: Investigadores

La figura 3.7 muestra la variación del ángulo θ_6 para distintas posiciones del ángulo θ_2 con la cual se observa el comportamiento a través del tiempo.

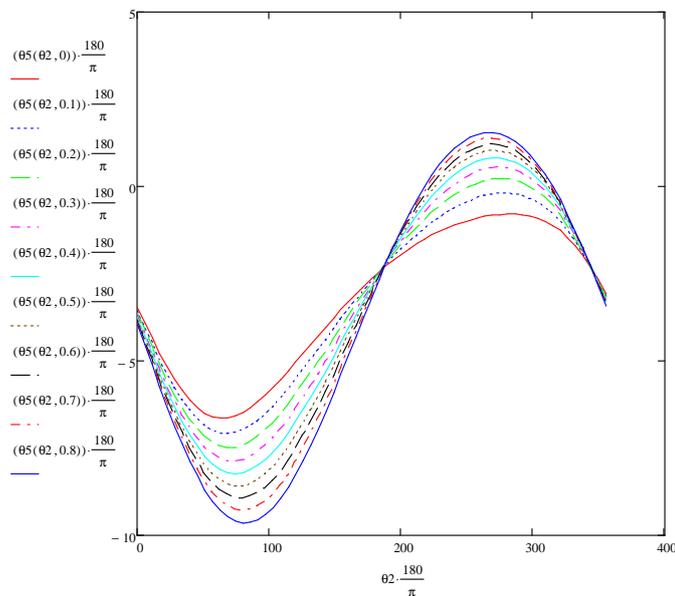


Figura 3. 8 Variación ángulo θ_5 en función del tiempo

Fuente: Investigadores

La figura 3.8 muestra la variación del ángulo θ_5 para distintas posiciones del ángulo θ_2 con la cual se observa el comportamiento a través del tiempo.

Al observar el comportamiento de las gráficas se observa un comportamiento similar en las mismas, por lo que se concluye que el movimiento será cíclico con respecto al tiempo.

3.3.1.2 Análisis de Velocidad

Para el análisis de velocidad se derivó la ecuación 3.3 tomando en cuenta que los vectores \vec{r}_x y \vec{r}_y son constantes, y se tiene

$$\dot{R}_2 + \dot{R}_3 = 0 + \dot{R}_4 \quad \text{Ec. 3.21}$$

$$R_2 \cdot e^{i\theta_2} + R_3 \cdot e^{i\theta_3} = R_4 \cdot e^{i\theta_4}$$

$$\dot{R}_2 \cdot \omega_2 \cdot i \cdot e^{i\theta_2} + \dot{R}_3 \cdot \omega_3 \cdot i \cdot e^{i\theta_3} = \dot{R}_4 \cdot \omega_4 \cdot i \cdot e^{i\theta_4}$$

Separando parte real y parte imaginaria

$$-R_2 \cdot \omega_2 \cdot \sin \theta_2 - R_3 \cdot \omega_3 \cdot \sin \theta_3 = -R_4 \cdot \omega_4 \cdot \sin \theta_4 \quad \text{Ec. 3.22}$$

$$R_2 \cdot \omega_2 \cdot \cos \theta_2 + R_3 \cdot \omega_3 \cdot \cos \theta_3 = R_4 \cdot \omega_4 \cdot \cos \theta_4 \quad \text{Ec. 3.23}$$

Multiplicando ecuación 3.22 por $\cos \theta_3$, la ecuación 3.23 por $\sin \theta_3$ y sumando se tiene:

$$-R2.\omega_2.\sin\theta_2.\cos\theta_3 - R3.\omega_3.\sin\theta_3.\cos\theta_3 + R2.\omega_2.\cos\theta_2.\sin\theta_3 + R3.\omega_3.\cos\theta_3.\sin\theta_3 = R4.\omega_4.\cos\theta_4.\sin\theta_3 - R4.\omega_4.\sin\theta_4.\cos\theta_3$$

Ec.3.24

$$R2.\omega_2.\cos(\theta_3 - \theta_2) = R4.\omega_4.\sin(\theta_3 - \theta_4) \quad \text{Ec. 3.25}$$

Despejando ω_4 de la ecuación 3.25

$$\omega_4 = \frac{R2.\omega_2.\cos(\theta_3 - \theta_2)}{R4.\sin(\theta_3 - \theta_4)} \quad \text{Ec. 3.26}$$

Despejando el valor de ω_3 de la ecuación 3.23 podemos hallar el valor de ω_3

$$\omega_3 = \frac{R4.\omega_4.\cos\theta_4 - R2.\omega_2.\cos\theta_2}{R3.\cos\theta_3} \quad \text{Ec. 3.27}$$

Para las velocidades ω_5 y ω_6 se derivan las ecuaciones 3.13 y 3.14

$$\left. \begin{aligned} -R2.\dot{R}2.\sin\theta_2 - R3.\dot{R}3.\sin\theta_3 - R5.\dot{R}5.\sin\theta_5 &= -R6.\dot{R}6.\sin\theta_6 \\ R2.\dot{R}2.\cos\theta_2 + R3.\dot{R}3.\cos\theta_3 + R5.\dot{R}5.\cos\theta_5 &= R6.\dot{R}6.\cos\theta_6 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} -R2.\omega_2.\sin\theta_2 - R3.\omega_3.\sin\theta_3 - R5.\omega_5.\sin\theta_5 &= -R6.\omega_6.\sin\theta_6 \\ R2.\omega_2.\cos\theta_2 + R3.\omega_3.\cos\theta_3 + R5.\omega_5.\cos\theta_5 &= R6.\omega_6.\cos\theta_6 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Ec. 3.28} \\ \text{Ec. 3.29} \end{array}$$

Multiplicando la ecuación 3.28 por $\cos\theta_5$ y la ecuación 3.29 por $\sin\theta_5$ y sumando

$$R2.\omega_2.\sin(\theta_5 - \theta_2) + R3.\omega_3.\sin(\theta_5 - \theta_3) = R6.\omega_6.\sin(\theta_6 - \theta_5) \quad \text{Ec.3.30}$$

Despejando ω_6 de la ecuación 3.30

$$\omega_6 = \frac{R2.\omega_2.\sin(\theta_5 - \theta_2) + R3.\omega_3.\sin(\theta_5 - \theta_3)}{R6.\sin(\theta_6 - \theta_5)} \quad \text{Ec. 3.31}$$

Despejando el valor de ω_5 de la ecuación 3.29 podemos hallar el valor de ω_5

$$\omega_5 = \frac{R6 \cdot \omega_6 \cdot \cos \theta_6 - R2 \cdot \omega_2 \cdot \cos \theta_2 - R3 \cdot \omega_3 \cdot \cos \theta_3}{R5 \cdot \cos \theta_5} \quad \text{Ec. 3.32}$$

Las gráficas que describen las velocidades angulares en los eslabones 3,4,5,6 se obtuvieron considerando $\omega_2 = 13,0899694 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$, equivalente a 125 rpm que es la velocidad angular en el eje de entrada, las mismas se detallan a continuación.

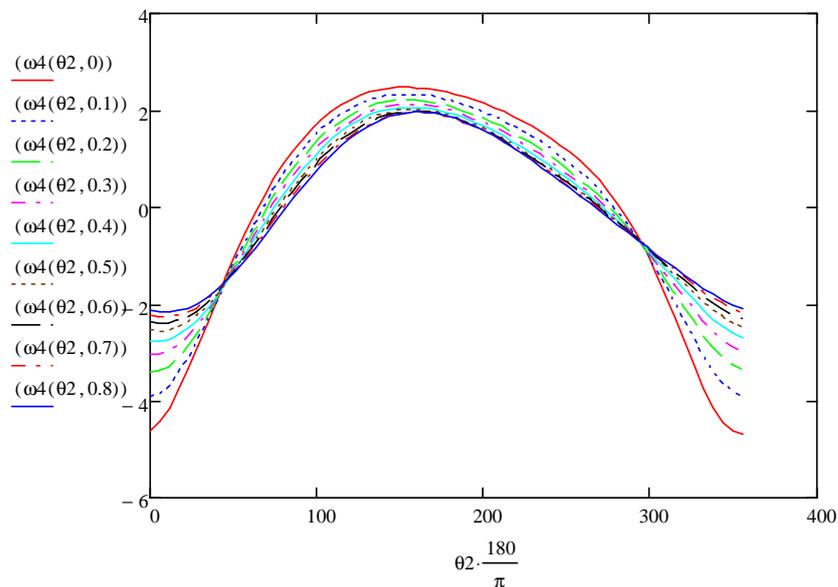


Figura 3. 9 Variación de la velocidad ω_4 en función del tiempo

Fuente: Investigadores

La figura 3.9 muestra la velocidad del eslabón 4 para distintas posiciones del ángulo θ_2 con la cual se observa el comportamiento de la misma a través del tiempo.

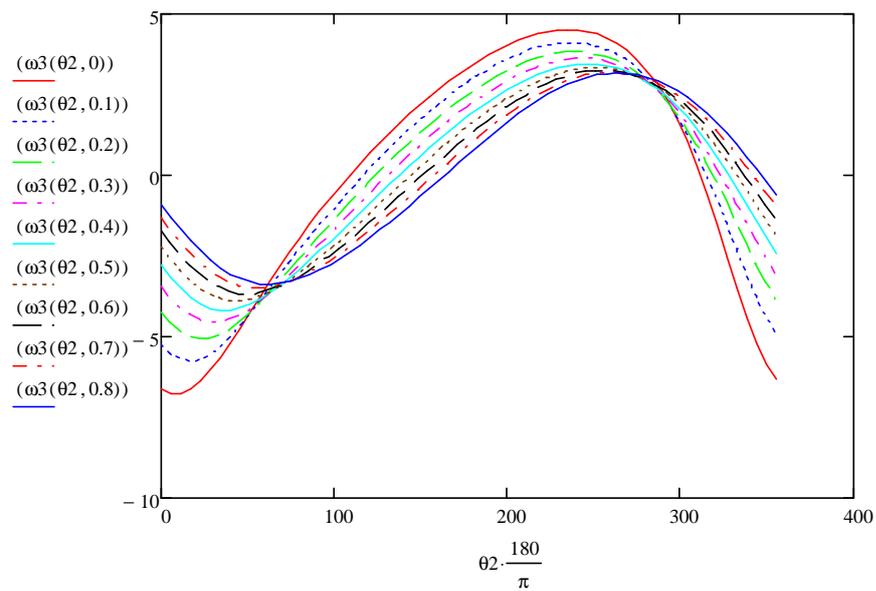


Figura 3. 10 Variación de la velocidad ω_3 en función del tiempo

Fuente: Investigadores

La figura 3.10 muestra la velocidad del eslabón 3 para distintas posiciones del ángulo θ_2 con la cual se observa el comportamiento de la misma a través del tiempo.

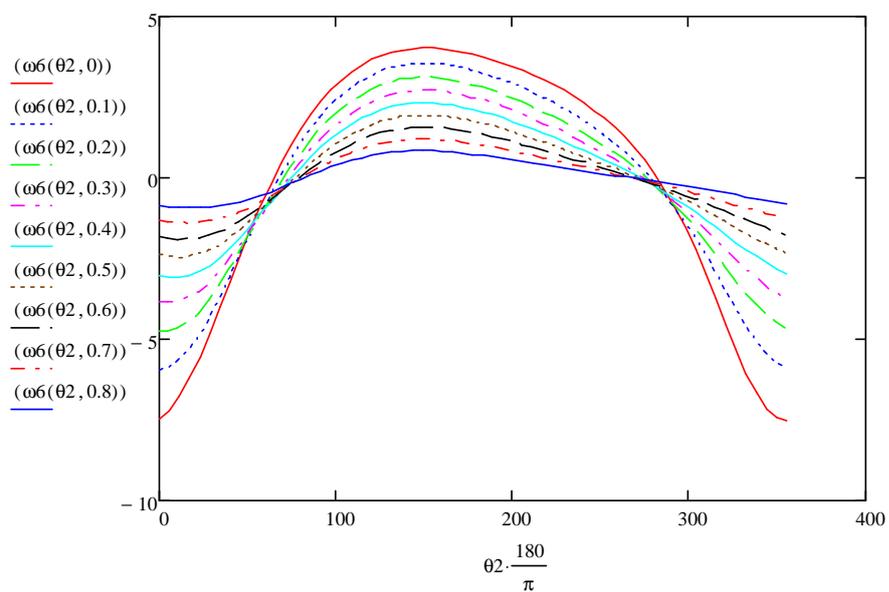


Figura 3. 11 Variación de la velocidad ω_6 en función del tiempo

Fuente: Investigadores

La figura 3.11 muestra la velocidad del eslabón 6 para distintas posiciones del ángulo θ_2 con la cual se observa el comportamiento de la misma a través del tiempo.

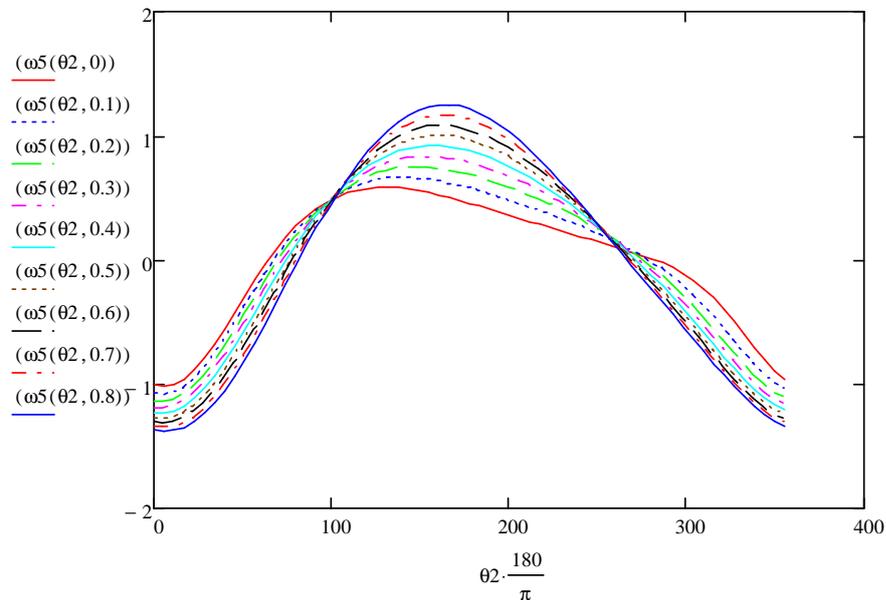


Figura 3. 12 Variación de la velocidad ω_5 en función del tiempo

Fuente: Investigadores

La figura 3.12 muestra la velocidad del eslabón 5 para distintas posiciones del ángulo θ_2 con la cual se observa el comportamiento de la misma a través del tiempo.

Se observa que la velocidad de los eslabones tiene un comportamiento similar en las gráficas con momentos de velocidad cero y velocidades negativas, lo que predice un movimiento de avance y retorno en los eslabones.

Analizando la figura 3.11 se concluye que la velocidad angular de salida del mecanismo ω_6 varía según como cambian los ángulos en los eslabones, por lo que al mover es eslabón 4 que es el regulador de velocidad del mecanismo, lograremos variar la velocidad angular de salida ω_6 . Se deberán colocar mecanismos desfasados en los ejes de entrada y salida para buscar rectificar la velocidad de salida y de esta manera lograr el movimiento uniforme del eje de salida.

Para elegir el número de mecanismos a colocar en los ejes se tomó en cuenta que el ancho del prototipo no debía superar los 500 mm por lo que se decidió que sean tres mecanismos desfasados a 120° en el eje de entrada, de esta manera se logrará variar el ángulo θ_2 , en tanto que las velocidades ω_6 de cada mecanismo trabajarán en conjunto logrando un movimiento uniforme del eje de salida del prototipo.

Para comprobar la rectificación de la velocidad angular de salida del prototipo se graficaron las velocidades angulares de salida ω_6 para valores distintos de θ_2 , importando de Mathcad 14 a Excel los puntos de la curva de velocidad.

Tabla 3. 4 Puntos de curva de velocidad ω_6 para mecanismos desfasados

	DESFASE			θ_2
	0	120	240	
-7.47564564	3.6585587	2.3400841		0
-7.2160342	3.7906397	2.11943199		0.1
-6.78826964	3.8896822	1.87603074		0.2

continuación \longrightarrow

Tabla 3.4 Puntos de curva de velocidad ω_6 para mecanismos desfasados

-6.22190036	3.9589967	1.60597503	0.3
-5.54959678	4.0016473	1.30468267	0.4
-4.80390757	4.0204368	0.96690147	0.5
-4.01505139	4.0179015	0.58679033	0.6
-3.20961732	3.9963103	0.15812669	0.7
-2.40995364	3.9576671	-0.32528491	0.8
-1.63403315	3.9037143	-0.86890651	0.9
-0.89562861	3.8359345	-1.4763556	1
-0.20467978	3.7555518	-2.14780878	1.1
0.4322312	3.6635299	-2.87794186	1.2
1.0113554	3.5605674	-3.65364757	1.3
1.5312471	3.4470892	-4.45210945	1.4
1.99226022	3.3232341	-5.24015422	1.5
2.39609293	3.1888375	-5.97588482	1.6

2.74539326	3.0434076	-6.61309815	1.7
3.04343121	2.886097	-7.10788552	1.8
3.29383596	2.7156663	-7.42563283	1.9
3.50039334	2.5304405	-7.54622133	2
3.66689534	2.3282599	-7.46596991	2.1
3.79703307	2.1064248	-7.19625609	2.2
3.89432397	1.8616391	-6.75989475	2.3
3.9620653	1.5899602	-6.1867121	2.4
4.00330678	1.2867676	-5.50944788	2.5
4.02083649	0.9467732	-4.76056922	2.6
4.01717558	0.5641074	-3.97011827	2.7
3.99457803	0.1325361	-3.16445727	2.8
3.95503313	-0.354117	-2.36568928	2.9
3.90026847	-0.901244	-1.5915448	3
3.83175233	-1.512317	-0.85557072	3.1
3.75069424	-2.187262	-0.16750533	3.2
3.65804317	-2.92038	0.46624211	3.3
3.55448259	-3.698061	1.04206566	3.4
3.44042184	-4.49691	1.55863345	3.5
3.31598325	-5.283197	2.01638624	3.6
3.18098435	-6.014639	2.41708525	3.7
3.03491448	-6.644975	2.76342147	3.8
2.87690519	-7.130638	3.05869134	3.9
2.70569374	-7.437716	3.3065377	4

continuación →

Tabla 3.4 Puntos de curva de velocidad ϕ_6 para mecanismos desfasados

2.51957955	-7.546993	3.51075023	4.1
2.31637408	-7.455696	3.67511775	4.2
2.09334561	-7.175953	3.80332328	4.3
1.84716311	-6.731089	3.89887294	4.4
1.57384649	-6.151197	3.9650507	4.5
1.26873711	-5.469075	4.00489188	4.6
0.92651093	-4.717101	4.02116968	4.7
0.54127079	-3.925138	4.01639023	4.8
0.10677226	-3.11932	3.99279263	4.9
-0.3831396	-2.321503	3.9523514	5
-0.93378381	-1.549177	3.89677956	5.1
-1.54848092	-0.815664	3.82753087	5.2
-2.22690065	-0.130502	3.74580034	5.3
-2.96295982	0.5000705	3.65252223	5.4

-3.7425441	1.0725893	3.54836491	5.5
-4.54167433	1.5858347	3.433722	5.6
-5.32606788	2.0403328	3.30869928	5.7
-6.05307477	2.4379066	3.17309655	5.8
-6.6763942	2.7812892	3.02638397	5.9
-7.15282582	3.0738025	2.86767198	6
-7.44917367	3.3191024	2.69567453	6.1
-7.54713104	3.520982	2.5086651	6.2

Fuente: Investigadores

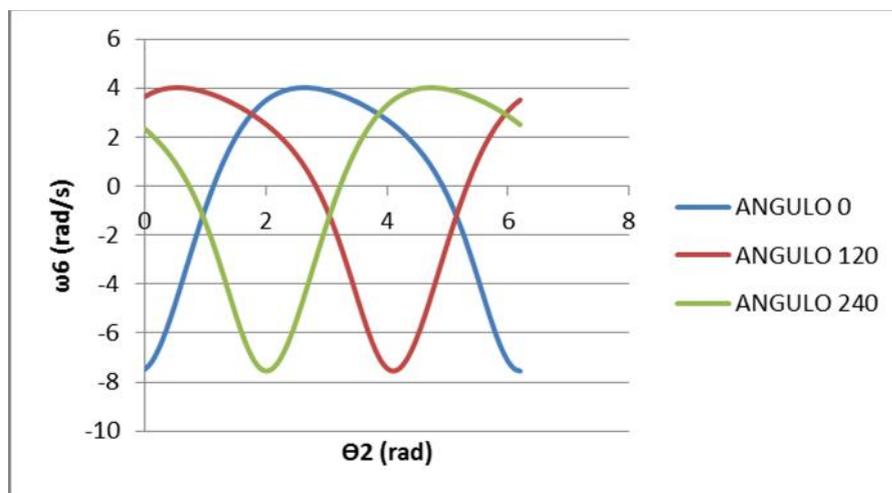


Figura 3. 13 Velocidad ω_6 de mecanismos desfasados en función del tiempo

Fuente: Investigadores

En la figura 3.13 se observa que la velocidad de salida del prototipo se rectifica al trabajar en conjunto los ω_6 de cada mecanismo, ya que cuando un mecanismo termina de actuar inicia el siguiente; logrando de esta manera un movimiento continuo en el eje de salida ya que la velocidad del sistema nunca llegará a cero.

3.3.1.3 Análisis de Aceleración

Para el análisis de aceleración se derivaron las ecuaciones 3.22 y 3.23.

$$-R2. \omega_2. \cos \theta_2. \dot{\theta}_2 - R3. (\omega_3. \cos \theta_3. \dot{\theta}_3 + \dot{\omega}_3 \sin \theta_3) = -R4. (\omega_4. \cos \theta_4. \dot{\theta}_4 + \dot{\omega}_4 \sin \theta_4)$$

Ec. 3.33

$$-R2. \omega_2. \sin \theta_2. \dot{\theta}_2 + R3. (-\omega_3. \sin \theta_3. \dot{\theta}_3 + \dot{\omega}_3. \cos \theta_3) = -R4. (-\omega_4. \sin \theta_4. \dot{\theta}_4 + \dot{\omega}_4. \cos \theta_4)$$

Ec. 3.34

Multiplicando la ecuación 3.33 por $\cos \theta_3$ y a la ecuación 3.34 por $\sin \theta_3$ se tiene:

$$-R2. \omega_2^2. \cos \theta_2. \cos \theta_3 - R3. \omega_3^2. (\cos \theta_3)^2. \dot{\theta}_3 - R3. \alpha_3. \sin \theta_3. \cos \theta_3 = -R4. \omega_4^2. \cos \theta_4. \cos \theta_3 - R4. \alpha_4. \sin \theta_4. \cos \theta_3$$

Ec. 3.35

$$-R2. \omega_2^2. \sin \theta_2. \sin \theta_3 - R3. \omega_3^2. (\sin \theta_3)^2. \dot{\theta}_3 + R3. \alpha_3. \sin \theta_3. \cos \theta_3 = -R4. \omega_4^2. \sin \theta_4. \sin \theta_3 + R4. \alpha_4. \sin \theta_3. \cos \theta_4$$

Ec. 3.36

Sumando las ecuaciones 3.35 y 3.36; utilizando las identidades trigonométricas de la suma y adición de ángulos se tiene:

$$-R2. \omega_2^2. \cos(\theta_3 - \theta_2) - R3. \omega_3^2 = -R4. \omega_4^2. \cos(\theta_4 - \theta_3) + R4. \alpha_4. \sin(\theta_4 - \theta_3)$$

Despejando α_4 :

$$\alpha_4 = \frac{-R2. \omega_2^2. \cos(\theta_3 - \theta_2) - R3. \omega_3^2 + R4. \omega_4^2. \cos(\theta_4 - \theta_3)}{R4. \sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

Despejando α_3 de ecuación 3.35:

$$\alpha_3 = \frac{-R2. \omega_2^2. \cos \theta_2 - R3. \omega_3^2. \cos \theta_3 + R4. \omega_4^2. \cos \theta_4 + R4. \alpha_4. \sin \theta_4}{R3. \sin \theta_3}$$

Para las aceleraciones α_5 y α_6 derivamos las ecuaciones 3.28 y 3.29:

$$-R2.\omega_2.\cos\theta_2.\dot{\theta}_2 - R3.(\omega_3.\cos\theta_3.\dot{\theta}_3 + \dot{\omega}_3.\sin\theta_3) - R5.(\omega_5.\cos\theta_5.\dot{\theta}_5 + \dot{\omega}_5.\sin\theta_5) = -R6.(\omega_6.\cos\theta_6.\dot{\theta}_6 + \dot{\omega}_6.\sin\theta_6)$$

Ec. 3.37

$$-R2.\omega_2.\sin\theta_2.\dot{\theta}_2 + R3.(-\omega_3.\sin\theta_3.\dot{\theta}_3 + \dot{\omega}_3.\cos\theta_3) + R5.(-\omega_5.\sin\theta_5.\dot{\theta}_5 + \dot{\omega}_5.\cos\theta_5) = -R6.(\omega_6.\sin\theta_6.\dot{\theta}_6 + \dot{\omega}_6.\cos\theta_6)$$

Ec. 3.38

Multiplicando la ecuación 3.37 por $\cos\theta_5$ y a la ecuación 3.38 por $\sin\theta_5$ se tiene:

$$-R2.\omega_2^2.\cos\theta_2.\cos\theta_5 - R3.\omega_3^2.\cos\theta_3.\cos\theta_5 - R3.\alpha_3.\sin\theta_3.\cos\theta_5 - R5.\omega_5^2.(\cos\theta_5)^2 - R5.\alpha_5.\sin\theta_5.\cos\theta_5 = -R6.\omega_6^2.\cos\theta_6.\cos\theta_5 - R6.\alpha_6.\sin\theta_6.\cos\theta_5$$

Ec. 3.39

$$-R2.\omega_2^2.\sin\theta_2.\sin\theta_5 - R3.\omega_3^2.\sin\theta_3.\sin\theta_5 - R3.\alpha_3.\cos\theta_3.\sin\theta_5 - R5.\omega_5^2.(\sin\theta_5)^2 - R5.\alpha_5.\sin\theta_5.\cos\theta_5 = -R6.\omega_6^2.\sin\theta_6.\sin\theta_5 - R6.\alpha_6.\cos\theta_6.\sin\theta_5$$

Ec. 3.40

Sumando las ecuaciones 3.39 y 3.40; utilizando las identidades trigonométricas de la suma y adición de ángulos se tiene:

$$-R2.\omega_2^2.\cos(\theta_5 - \theta_2) - R3.\omega_3^2.\cos(\theta_5 - \theta_3) - R3.\alpha_3.\sin(\theta_5 - \theta_3) = -R6.\omega_6^2.\cos(\theta_6 - \theta_5) + R6.\alpha_6.\sin(\theta_6 - \theta_5)$$

Ec.3.41

Despejando α_6 :

$$\alpha_6 = \frac{-R2.\omega_2^2.\cos(\theta_2 - \theta_5) - R3.\omega_3^2.\cos(\theta_3 - \theta_5) - R3.\alpha_3.\sin(\theta_3 - \theta_5) + R6.\omega_6^2.\cos(\theta_6 - \theta_5)}{R6.\sin(\theta_6 - \theta_5)}$$

Despejando α_5 de ecuación 3.40:

$$\alpha_5 = \frac{-R6.\omega_6^2.\sin\theta_6 + R6.\alpha_6.\cos\theta_6 + R5.\omega_5^2.\sin\theta_5 - R3.\alpha_3.\cos\theta_3 + R3.\omega_3^2.\sin\theta_3 + R2.\omega_2^2.\sin\theta_2}{R5.\cos\theta_5}$$

Las siguientes gráficas describen el comportamiento de la aceleración:

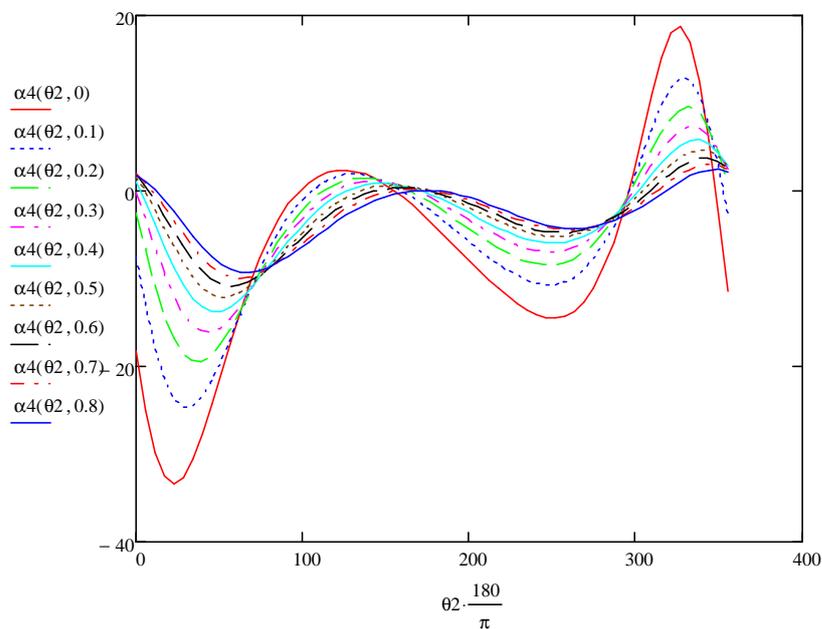


Figura 3. 14 Variación de la aceleración α_4 en función del tiempo

Fuente: Investigadores

La figura 3.14 muestra la aceleración del eslabón 4 para distintas posiciones del ángulo θ_2 con la cual se observa el comportamiento de la misma a través del tiempo.

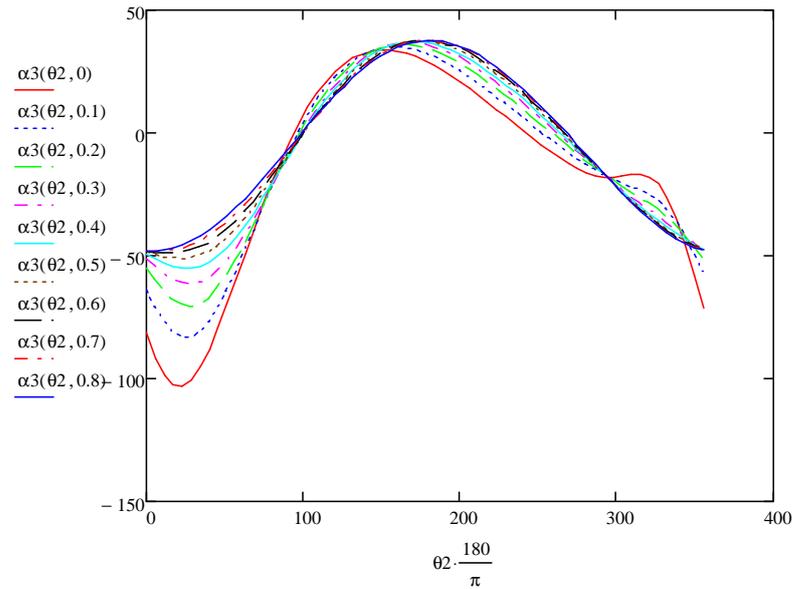


Figura 3. 15 Variación de la aceleración α_3 en función del tiempo

Fuente: Investigadores

La figura 3.15 muestra la aceleración del eslabón 3 para distintas posiciones del ángulo θ_2 con la cual se observa el comportamiento de la misma a través del tiempo.

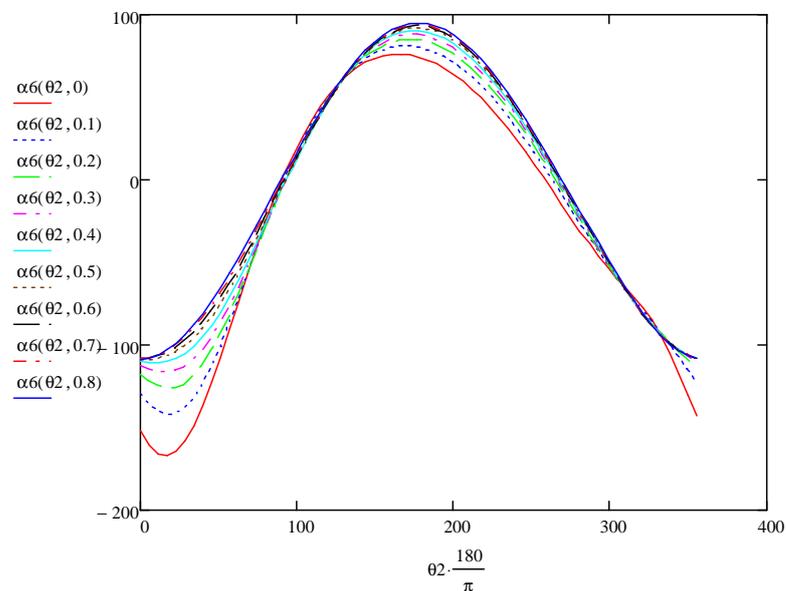


Figura 3. 16 Variación de la aceleración α_6 en función del tiempo

Fuente: Investigadores

La figura 3.16 muestra la aceleración del eslabón 6 para distintas posiciones del ángulo θ_2 con la cual se observa el comportamiento de la misma a través del tiempo.

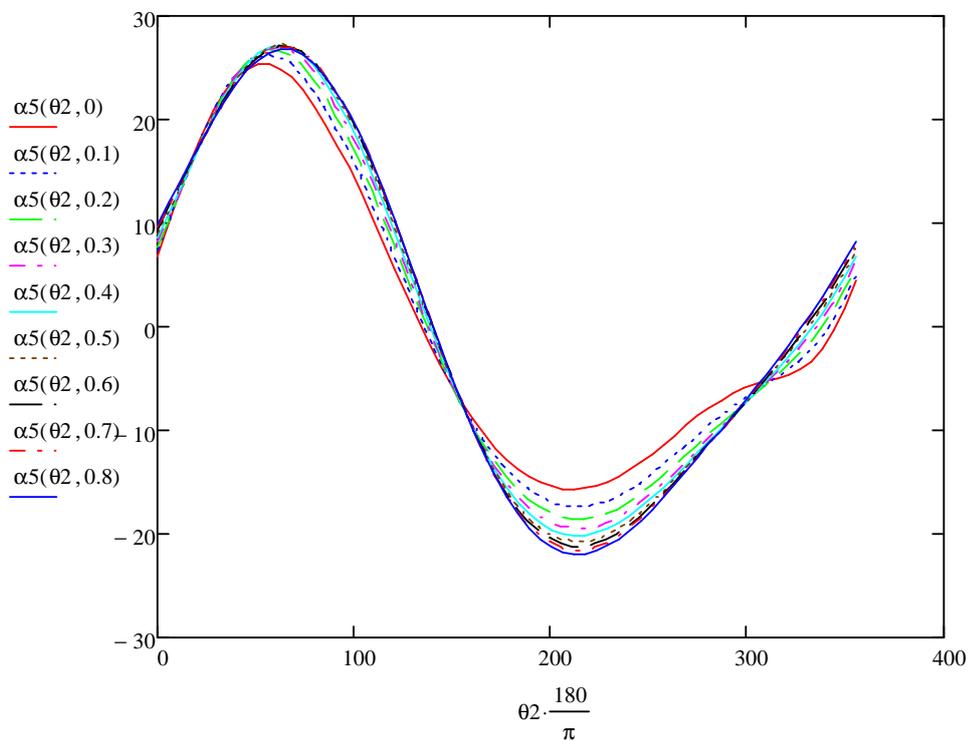


Figura 3. 17 Variación de la aceleración α_5 en función del tiempo

Fuente: Investigadores

La figura 3.17 muestra la aceleración del eslabón 5 para distintas posiciones del ángulo θ_2 con la cual se observa el comportamiento de la misma a través del tiempo.

3.3.2 ANÁLISIS DINÁMICO

3.3.2.1 Análisis de Torque

Para el análisis de torque se utilizó el software Solidworks, para ello se definió el material en todos los componentes, en los eslabones se eligió el aluminio y para los ejes el acero 1045.

Se realizó un análisis de movimiento tomando en cuenta un motor giratorio a 125 RPM en el eje de entrada, para obtener el valor del torque con el que se calculará la potencia requerida por el motor.

El análisis se realizó en el punto de mayor velocidad del mecanismo que es el punto más bajo de la regulación y mediante un análisis de fuerzas de torsión se obtuvo la figura 3.18 que muestra la fluctuación de la fuerza de torsión en el eje de entrada.

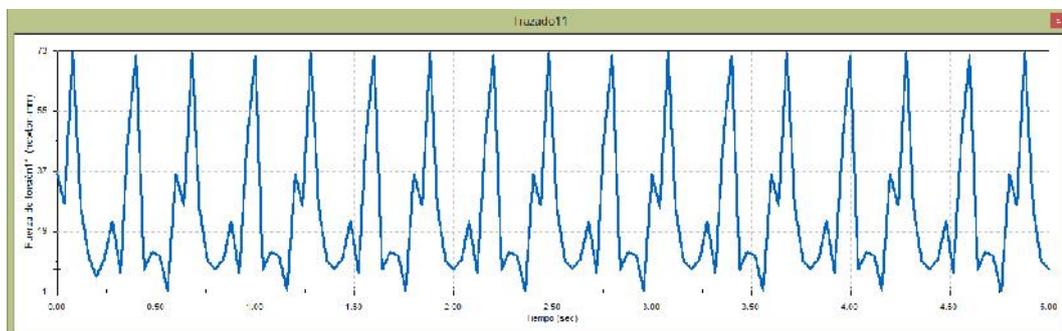


Figura 3. 18 Gráfica fuerza de torsión en eje de entrada

Fuente: Investigadores

Se tomó el mayor valor de la gráfica 3.18, por lo que se tiene que el torque requerido para el cálculo de la potencia del motor es de 73 N-mm.

CALCULO DE POTENCIA DE MOTOR:

Para el cálculo de la potencia del motor se utiliza la siguiente ecuación (Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley; 2008):

$$P = \frac{T * n}{9550}$$

$$P = \frac{(7.3 * 10^{-2}) N.m * 125 rpm}{9550}$$

$$P = 9,555 * 10^{-4} kw$$

Donde:

P: Potencia requerida por el motor [kw].

n: Velocidad [rpm]

T: Torque en el eje de entrada. [N.m]

Para obtener el valor de la potencia en HP, se divide la potencia en kw para 0,74:

$$P = \frac{7,644 * 10^{-4} \text{ kw}}{0,74}$$

$$P = 1,29121 * 10^{-3} \text{ HP}$$

Al ser un prototipo de uso didáctico no tendrá un uso prolongado y a su vez estará en un ambiente que ayudará a mantener su estado por lo que se utilizará un factor de servicio de 1,15.

$$P_m = P [\text{HP}] * FS$$

$$P_m = 1,29121 * 10^{-3} \text{ HP} * 1,15$$

$$P_m = 0,00148489 \text{ HP}$$

3.3.2.2 Análisis de Fuerzas internas

El análisis de fuerzas internas se realizó en el software Solidworks, para ello se utilizó la herramienta SolidMotion. El análisis se efectuó para los eslabones de un mecanismo ya que tendrán el mismo valor en el resto de mecanismos, se analizó el esfuerzo para la posición de mayor velocidad.

Posterior a los resultados obtenidos en el software se realizó el cálculo del factor de seguridad utilizando el criterio del esfuerzo de Von Misses, el mismo que nos asegura que el material podrá resistir el esfuerzo al que será sometido, la ecuación para el cálculo es:

$$F.S. = \frac{\sigma_{\text{limite}}}{\sigma_{\text{Von Misses}}}$$

Ec. 3.42

Los resultados del análisis de fuerzas internas se detallan a continuación:

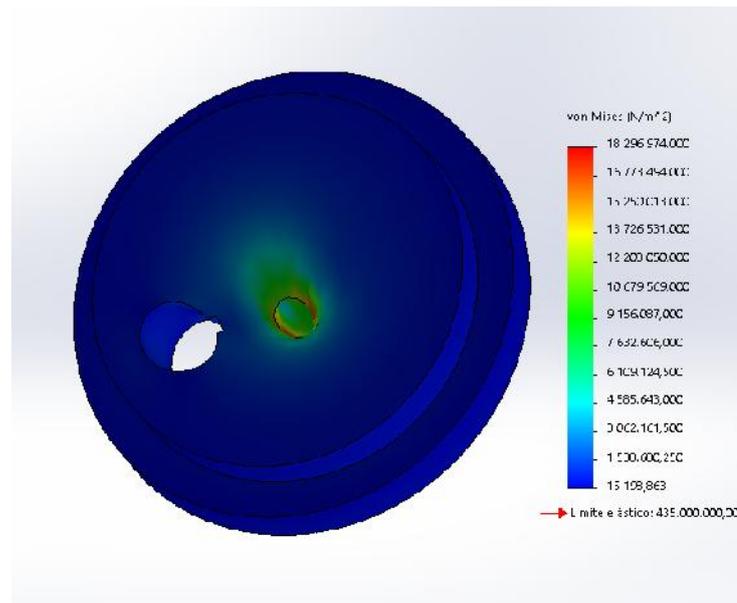


Figura 3. 19 Análisis de fuerzas internas eslabón R2-1

Fuente: Investigadores

Se observa en la figura 3.19 que el esfuerzo de Von Mises para el eslabón R2-1 tiene un valor de 18.296.974 Pa y tenemos un límite elástico del material de 435.000.000 Pa, con lo que se obtiene un factor de seguridad de 23,77 que nos muestra que el eslabón soportará sin problema las cargas a las que será sometido.

$$F.S. = \frac{\sigma_{\text{limite}}}{\sigma_{\text{Von Misses}}} = \frac{435.000.000 \left[\frac{N}{m^2} \right]}{18.296.974 \left[\frac{N}{m^2} \right]} = 23,77$$

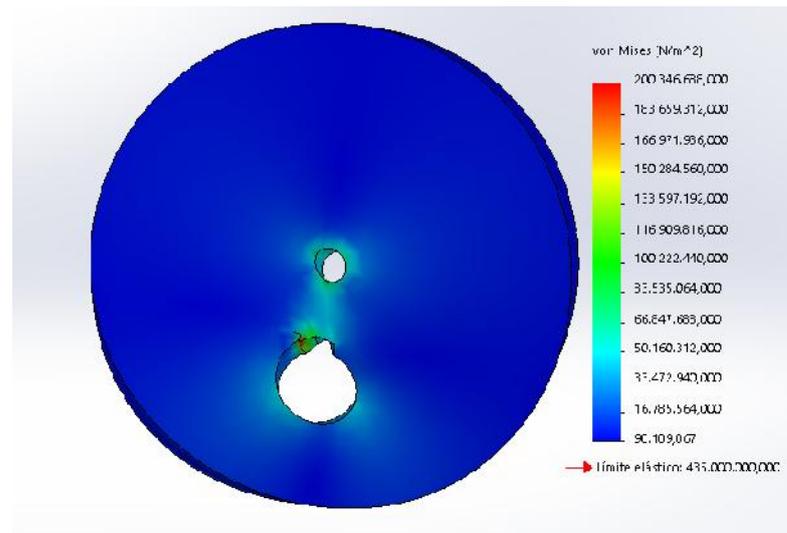


Figura 3. 20 Análisis de fuerzas internas eslabón R2-2

Fuente: Investigadores

En la figura 3.20 se observa un esfuerzo de Von Misses de 200.346.688 Pa para el eslabón R2-2, con el cual el factor de seguridad obtenido es de 2,17 siendo favorable para el análisis realizado, se comprueba que el eslabón R2-2 puede funcionar sin problemas.

$$F.S. = \frac{\sigma_{\text{límite}}}{\sigma_{\text{VonMisses}}} = \frac{435.000.000 \left[\frac{N}{m^2} \right]}{200.346.688 \left[\frac{N}{m^2} \right]} = 2,17$$

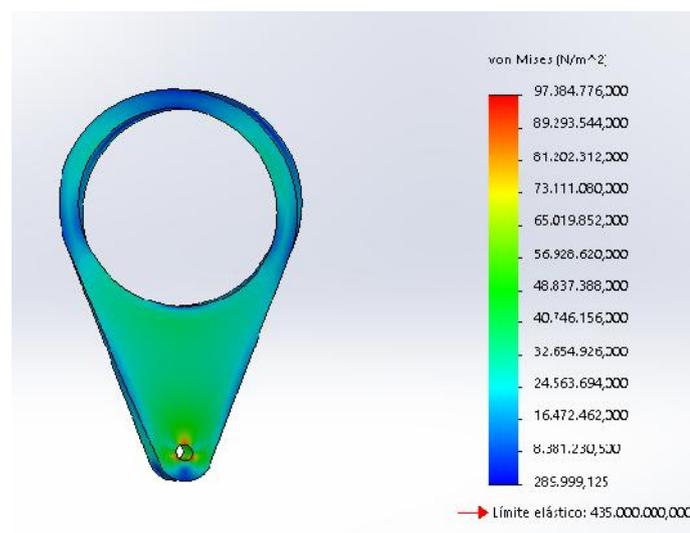


Figura 3. 21 Análisis de fuerzas internas eslabón R3

Fuente: Investigadores

En la figura 3.21 esfuerzo de Von Misses para el eslabón R3 es de 97.384.776 Pa, teniendo como resultado un factor de seguridad de 4,47 el cual asegura el funcionamiento correcto del eslabón R3.

$$F.S. = \frac{\sigma_{\text{límite}}}{\sigma_{\text{VonMisses}}} = \frac{435.000.000 \left[\frac{N}{m^2} \right]}{97.384.776 \left[\frac{N}{m^2} \right]} = 4,47$$

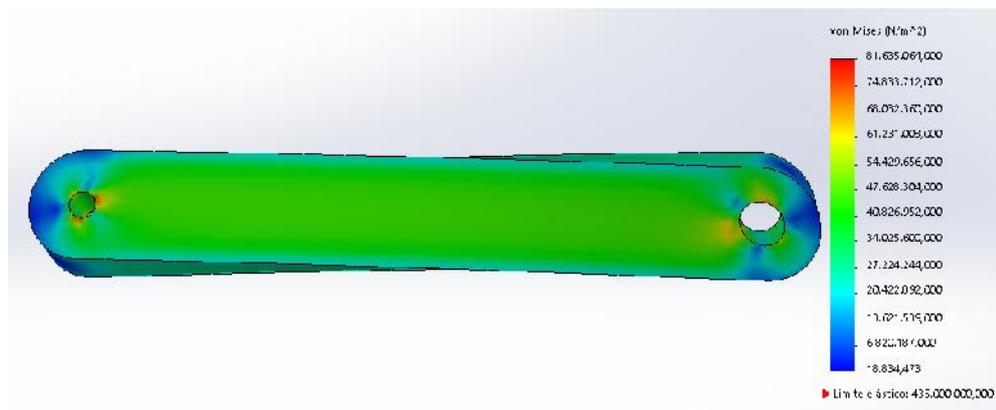


Figura 3. 222 Análisis de fuerzas internas eslabón R4

Fuente: Investigadores

En la figura 3.22 se observa que el esfuerzo de Von Misses para el eslabón R4 es de 81.635.064 Pa, el factor de seguridad obtenido es de 5,33 por lo que se puede afirmar que el eslabón R4 no tendrá falla alguna.

$$F.S. = \frac{\sigma_{\text{límite}}}{\sigma_{\text{VonMisses}}} = \frac{435.000.000 \left[\frac{N}{m^2} \right]}{81.635.064 \left[\frac{N}{m^2} \right]} = 5,33$$

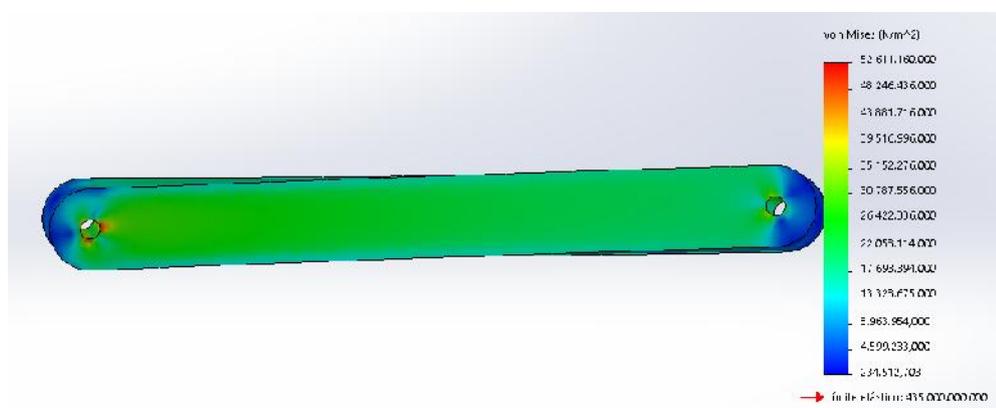


Figura 3. 233 Análisis de fuerzas internas eslabón R5

Fuente: Investigadores

Con el esfuerzo de Von Misses de 52.611.160 Pa del eslabón R5 que se observa en la figura 3.23, se obtuvo un factor de seguridad de 8,27 siendo un resultado favorable para el análisis aplicado en el eslabon R5.

$$F.S. = \frac{\sigma_{\text{límite}}}{\sigma_{\text{VonMisses}}} = \frac{435.000.000 \left[\frac{N}{m^2} \right]}{52.611.160 \left[\frac{N}{m^2} \right]} = 8,27$$

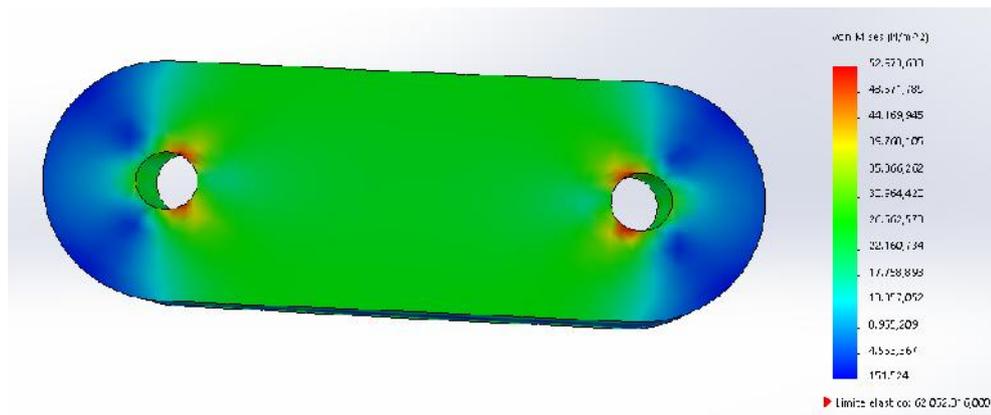


Figura 3. 244 Análisis de fuerzas internas eslabón R6

Fuente: Investigadores

La figura 3.24 muestra que el eslabón R6 presenta un esfuerzo de Von Misses de 59.587.252 Pa, el cual no supera el límite plástico del material por lo que se tiene un factor de seguridad de 7,30 que da la confiabilidad necesaria para el funcionamiento del eslabón R6.

$$F.S. = \frac{\sigma_{\text{límite}}}{\sigma_{\text{VonMisses}}} = \frac{435.000.000 \left[\frac{N}{m^2} \right]}{59.587.252 \left[\frac{N}{m^2} \right]} = 7,30$$

De los resultados del análisis se observa en la figura 3.20 que el eslabón crítico es el eslabón R2-2 en la zona donde se encuentra el canal para la chaveta, debido a que en este eslabón se obtuvo el menor factor de seguridad; por lo que se deberá tomar en cuenta aspectos como lubricación, fricción, facilidad de movimiento, para evitar que el mecanismo trabe su movimiento y como consecuencia mayor falle mecánicamente.

3.4 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Para el funcionamiento del prototipo se requiere:

MOTOR

En el capítulo 3.2 se encuentra el cálculo de la potencia requerida por el motor, allí se evidencia que esta potencia es relativamente baja por lo que se utilizará un motor con una potencia de $\frac{1}{4}$ HP con las siguientes características. Para obtener las 125 rpm requeridas en el eje de entrada se utilizará un motoreductor.

Las especificaciones técnicas del motor se encuentran en la tabla 3.5:

Tabla 3. 5 Especificaciones técnicas del motor

Tipo MT 63B4/I	Nr. 03L0020				Prot. IP 55
Serv. S1	Cos φ 0,7				Is. Cl.F
V Δ/Y	Hz.	HP	KW	min-1	A Δ/Y
220/380	50	0,25	0,18	1370	1,09/0,63
240/415	50	0,25	0,18	1370	1,1/0,64
260/460	60	0,25	0,18	1370	0,98/0,57

Fuente: Investigadores

3.4.1 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Para la selección de los instrumentos de medición se tomó en cuenta las variables a ser medidas, en nuestro caso la variable a ser medida es la velocidad en el eje de salida, ya que en el eje de entrada la velocidad va a ser constante. Para medir la velocidad se utilizan los tacómetros, razón por la cual la selección se hará en base al factor económico y funcional del mismo.

En la tabla 3.6 a continuación se detalla la ponderación de los criterios evaluados y las calificaciones de los tipos de tacómetros evaluados:

Tabla 3. 6 Matriz de selección de tacómetro

TACOMETRO	Ponderación	TACOMETRO LASER		TACOMETRO POR CONTACTO		TACOMETRO CON SENSOR OPTICO	
		Calificación	Calificación X ponderación	Calificación	Calificación X ponderación	Calificación	Calificación X ponderación
CRITERIOS							
Economía	0.2	7	1.4	7	1.4	8	1.6
Presentación	0.2	7	1.4	7	1.4	7	1.4
Funcionalidad	0.4	8	3.2	8	3.2	8	3.2
Disponibilidad de material en el mercado	0.2	8	1.6	8	1.6	8	1.6
TOTAL	1	7.6		7.6		7.8	

Fuente: Investigadores

Se observa que el tacómetro con sensor óptico es la mejor opción para el prototipo.

La construcción del tacómetro con sensor óptico fue realizada por parte de la empresa MEGATRONICA, la misma que se dedica al desarrollo tecnológico y comercialización de productos de última tecnología, fabricación de circuitos impresos, proyectos con microcontroladores, programadores, etc. Los detalles del funcionamiento del mismo se encuentran en el Anexo B.

3.4.2 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE CONTROL

Se definieron en primera instancia los procesos a controlar, los mismos se detallan a continuación:

- Encendido y apagado de motor.
- Encendido y apagado de display de tacómetro.

Para el encendido y apagado del motor se utilizó un pulsador on/off con bloqueo en un sentido, de manera que pueda trabajar con el voltaje del motor sin presentar problemas, la figura 3.25 muestra el pulsador utilizado.



Figura 3. 25 Selector ON/OFF

Fuente: <http://www.emasas.com.tr/en/urunler.asp?id=3#>

Para asegurar el funcionamiento correcto del motor, se utilizó un botón de start para ayudar al arranque del motor el mismo que debía enviar señal únicamente al pulsar sin quedarse pulsado, en la figura 3.26 se muestra el botón utilizado.



Figura 3. 26 Botón start

Fuente: <http://www.mazcr.com/store/image/cache/18705-175x125.JPG>

Para asegurar el equipo se utilizaron dos microswitch que se activan en la posición máxima y mínima de la regulación de velocidad, apagando el motor, la figura 3.27 muestra los elementos utilizados.



Figura 3. 27 Microswitch

Fuente: <http://www.clasohlson.com/uk/Micro-Switch/Pr364767000>

El display del tacómetro utilizará un interruptor on/off, su selección se realizó tomando en cuenta el tamaño de la caja y su disponibilidad.

3.5 SIMULACIÓN EN SOFTWARE DE SISTEMAS MULTICUERPO

Una vez realizado el estudio del comportamiento del mecanismo, se utilizaron los software de sistemas multicuerpo Working Model y SolidWorks para realizar las simulaciones correspondientes del mecanismo y diseño final del prototipo, para de esta manera tener una idea visible del movimiento y necesidades del prototipo.

En Working Model se dibujaron las barras con las longitudes finales del mecanismo para lo que se tomó en cuenta la restricción geométrica que limitó las dimensiones de las barras para ajustarse al tamaño máximo del prototipo, razón por la cual se escalaron y ajustaron las longitudes de las barras, siendo las dimensiones finales las detalladas en la tabla.

Tabla 3. 7 Dimensiones finales de barras para mecanismo

BARRA	2	3	4	5	6
DIMENSION [mm]	30	124	200	280	106

Fuente: Investigadores

Una vez dibujadas las barras con sus dimensiones reales, se colocó un motor en el eje de entrada para de esta manera simular el movimiento del mecanismo comprobando que al cambiar la posición de la barra cuatro que es la regulación de la velocidad de salida, se obtengan gráficas que muestren la variación de la misma. La figura 3.28 muestra las diferentes posiciones de la barra cuatro para las cuales se obtuvieron las gráficas de velocidad de salida.

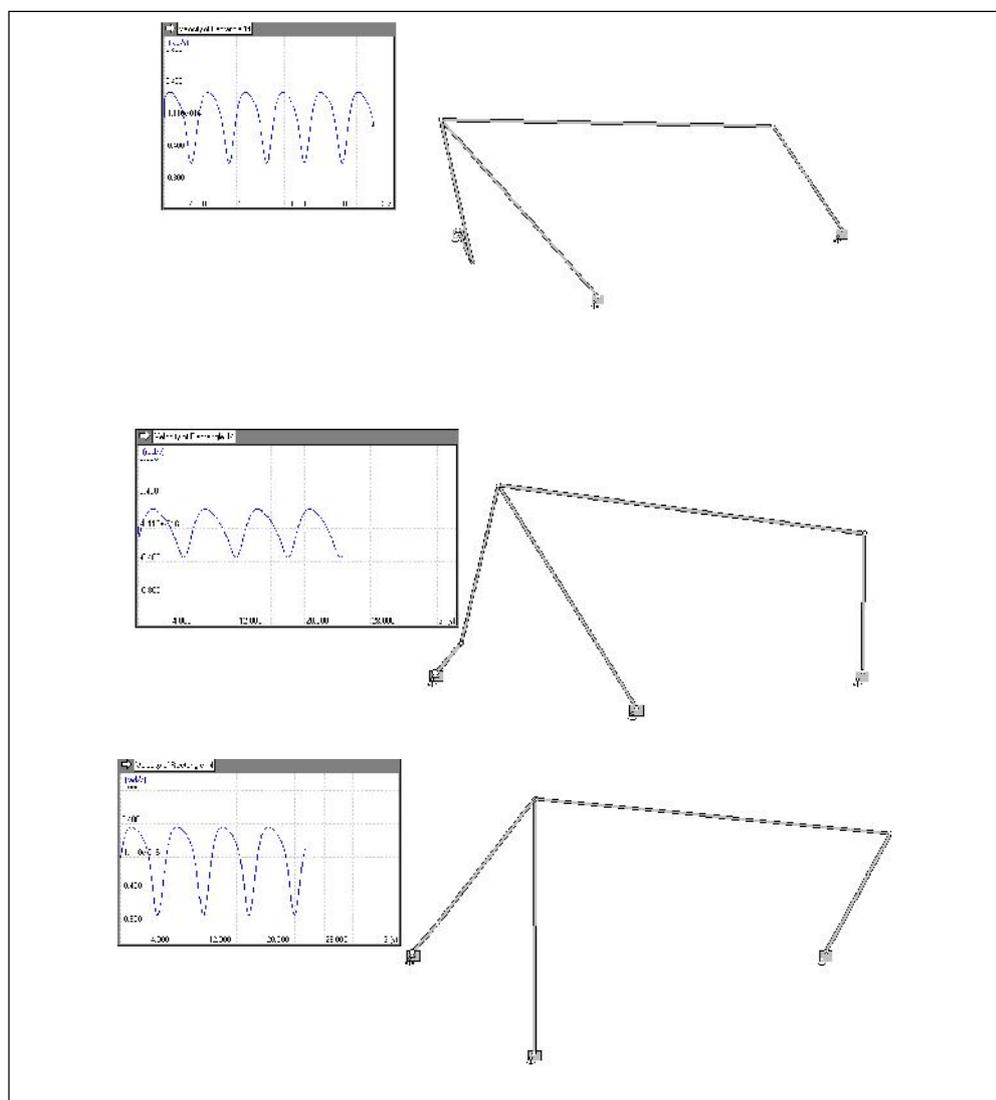


Figura 3. 28 Simulación de mecanismo en Working Model para diferentes posiciones

Fuente: Investigadores

Se comprueba con la figura 3.28 que la velocidad de salida varía conforme cambia la posición del eslabón 4, razón por la cual se procedió con el diseño final del prototipo.

Se observa también que el eslabón 6 tiene un movimiento de avance y retroceso que al estar unido al eje de salida produciría un giro horario y antihorario, por lo que se analizó la utilización de una rueda libre para producir el movimiento en un solo sentido. Para comprobar el funcionamiento del mecanismo con una rueda libre y lograr el movimiento del eje de salida en un solo sentido se utilizó el software SolidWorks, en el cual se dibujó la rueda libre que trabajaría en conjunto con el eslabón 6 logrando así el giro en solo sentido.

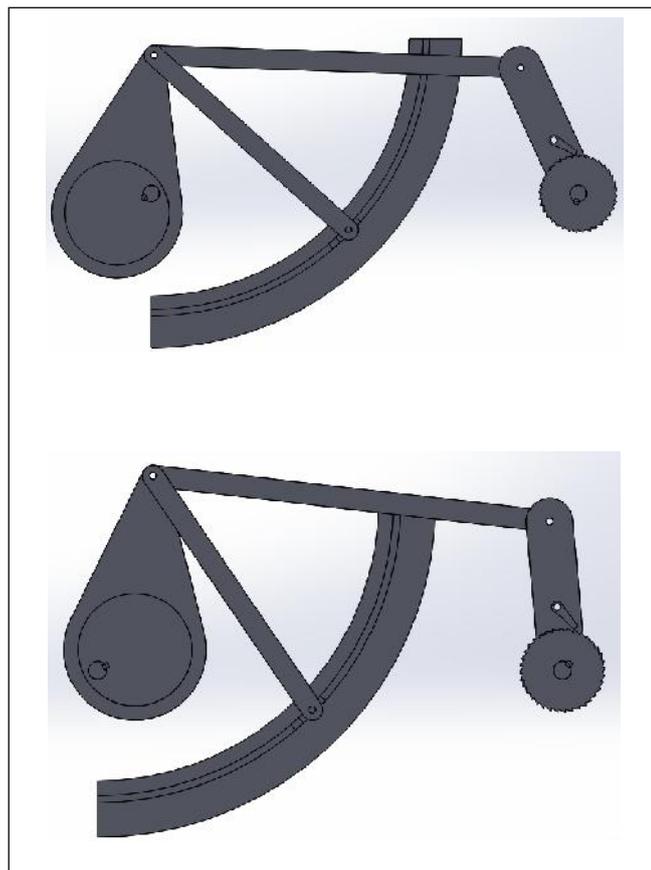


Figura 3. 29 Simulación de mecanismo en SolidWorks

Fuente: Investigadores

Con la simulación que la figura 3.29 representa se pudo comprobar que el sistema requiere un embrague que permita el giro en un solo sentido, por lo que deberá ser tomado en cuenta para el diseño.

Una vez se comprobó la funcionalidad del mecanismo, se inició la etapa de diseño del mecanismo, se dimensionaron las partes cuyos planos de construcción se encuentran en el Anexo C con sus hojas de procesos que se detallan en el Anexo D.

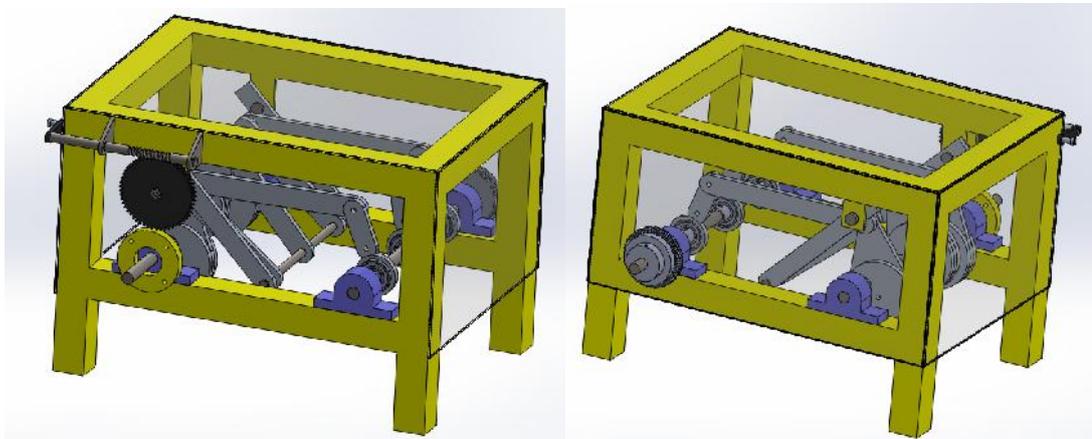


Figura 3. 30 Diseño final del prototipo en SolidWorks

Fuente: Investigadores

CAPITULO 4

CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLE Y VALIDACIÓN

4.1 PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN

En la tabla 4.1 se detallan los elementos a ser mecanizados que serán utilizados para la construcción del prototipo.

Tabla 4. 1 Elementos mecanizados para construcción de prototipo

No.	Código	Nombre	Material	Cantidad	Número de plano (Anexo C)	Hoja de procesos (Anexo D)
1	BC-01	Bancada	ASTM A36	1	1	1
2	ELB-011	Eslabón R2-1	Aluminio	3	2	2
3	ELB-012	Eslabón R2-2	Aluminio	3	3	3
4	ELB-03	Eslabón R3	Aluminio	3	4	4
5	ELB-04	Eslabón R4	Aluminio	3	5	5
6	ELB-05	Eslabón R5	Aluminio	3	6	6
7	ELB-06	Eslabón R6	Aluminio	3	7	7
8	RG-011	Regulador de velocidad 1	Aluminio	2	8	8
9	RG-012	Regulador de velocidad 2	Aluminio	2	9	9
10	SP-01	Soporte eje	ASTM A36	3	10	10
11	BN-01	Bocín	Acero SAE 1045	3	11	11
12	EJ-01	Eje de entrada	Acero SAE 1045	1	12	12
13	EJ-02	Eje de salida	Acero SAE 1045	1	13	13
14	EJ-03	Eje regulación 1	Acero SAE 1045	1	14	14
15	EJ-04	Eje regulación 2	Acero SAE 1045	1	15	15

continuación →

Tabla 4.1 Elementos mecanizados para construcción de prototipo

16	EJ-05	Eje para regulador	Acero SAE 1045	1	16	16
17	CJ-01	Caja porta rodamiento	Aluminio	3	17	17
18	RD-01	Rueda	Aluminio	1	18	18
19	PS-01	Pasador 1	Acero ASTM A709	6	19	19
20	PS-02	Pasador 2	Acero ASTM A709	3	20	20
21	EG-01	Engrane helicoidal	Acero SAE 1045	1	21	21
22	TSF-01	Tornillo sin fin	Acero SAE 1045	1	22	22
23	CHT-01	Chavetero	ASTM A36	6	23	23
24	BRD-01	Brida para motor	Acero SAE 1045	1	24	24
25	MN-01	Manivela	Varios	1	25	25

Fuente: Investigadores

Una vez se mecanizaron las piezas anteriormente descritas se adquirieron los elementos faltantes para que el funcionamiento del prototipo sea correcto, en la tabla 4.2 se encuentran listados dichos elementos.

Tabla 4. 2 Elementos adquiridos para construcción de prototipo

No.	Código	Nombre	Cantidad
1	ADS-01	Anillo de seguridad para eje $\phi=8\text{mm}$	18
2	ADS-02	Anillo de seguridad para eje $\phi=1/2"$	12
3	ADS-03	Anillo de seguridad para eje $\phi=3/4"$	10
4	ADS-04	Anillo de seguridad para eje $\phi= 14$ mm	4
5	PR-01	Prisioneros M4	3
6	CHM-01	Chumacera para eje $\phi=1/2"$	3
7	MT-01	Motor	1
8	TCM-01	Tacómetro	1
9	PNS-01	Pernos $3/4"$ X15	8
10	RD-01	Rodela para perno $3/4^\circ$	8
11	TR-01	Tuerca para perno $3/4"$	8
12	TN-01	Perno M6x15	16

Fuente: Investigadores

4.2 MONTAJE

4.2.1 PARTES

El montaje de las partes se realizó de la siguiente manera:

- 1.- Se ensamblaron los mecanismos de transmisión sin tomar en cuenta al eslabón R6 para de esta manera tener la suficiente movilidad en el montaje del eje final. Cada mecanismo consta de los eslabones R2-1, R2-2, R3, R4 y R5; para el ensamble de los mecanismos se colocaron los pasadores con sus respectivos anillos de seguridad. El eje para regulador se insertó por el eslabón R4 de cada mecanismo.
- 2.- Se insertó el eje de entrada por la excentricidad que se encuentra en los eslabones R2-1 y R2-2 de cada mecanismo, tomando en cuenta la posición y el orden de los anillos de seguridad para que los mecanismos se encuentren a la misma distancia el uno del otro.
- 3.- Se soldó el eslabón R6 de cada mecanismo con el porta rodamientos correspondiente, posteriormente se insertó el bocín en el rodamiento y este conjunto ingresó en los porta rodamientos teniendo de esta manera un solo eslabón, el mismo que se unió al mecanismo anteriormente ensamblado.
- 4.- Se insertó el eje de salida por los bocines del conjunto ensamblado.
- 5.- Se colocaron las chumaceras en los ejes de entrada y salida, logrando así tener un conjunto armado formado por 3 mecanismos sincronizados.
- 6.- Se colocaron los eslabones de regulación de velocidad como muestra la figura 4.1, ensamblándolos con el eje que conecta a todos los eslabones de regulación por medio de anillos de seguridad.



Figura 4. 1 Conjunto armado con tres mecanismos

Fuente: Investigadores

7.- Se soldaron los soportes de los ejes de regulación a la bancada teniendo sumo cuidado con las distancias, ya que de estos soportes depende el funcionamiento de la regulación la figura 4.2 muestra la bancada con soportes soldados.



Figura 4. 2 Bancada con soportes soldados

Fuente: Investigadores

8.- Se colocó el conjunto armado en la bancada, fijándolo a la misma por medio de las chumaceras, se debe tener cuidado con la ubicación de los eslabones ya que si se ubican de manera incorrecta no podrá tener el giro requerido por el sistema, en la la figura 4.3 muestra el montaje final del conjunto sobre la bancada.



Figura 4. 3 Bancada con mecanismos

Fuente: Investigadores

9.- Se insertó el engrane helicoidal en el eje de regulación frontal asegurándolo con un tornillo, se colocó el tornillo sin fin de manera que pueda producir el giro que será el que regulará la velocidad la figura 4.4 muestra la colocación del tornillo sin fin en .

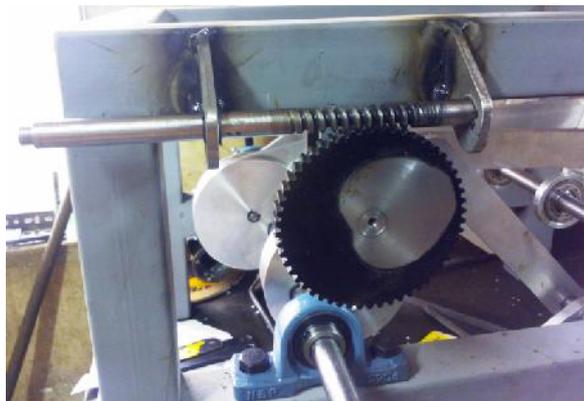


Figura 4. 4 Montaje tornillo sin fin - corona

Fuente: Investigadores

10.- Se acopló el motoreductor al eje de entrada mediante una brida soldada a la bancada y empernándola al motoreductor; en tanto que en el eje de salida se colocó la rueda que será en la que se mida la velocidad de salida, la figura 4.5 muestra la brida soldada a la bancada.



Figura 4. 5 Bancada con brida para motor

Fuente: Investigadores

11.-Se pintó la bancada de color amarillo, el engrane con el tornillo sin fin se pintaron de color negro, la figura 4.6 muestra el prototipo con el motor instalado.

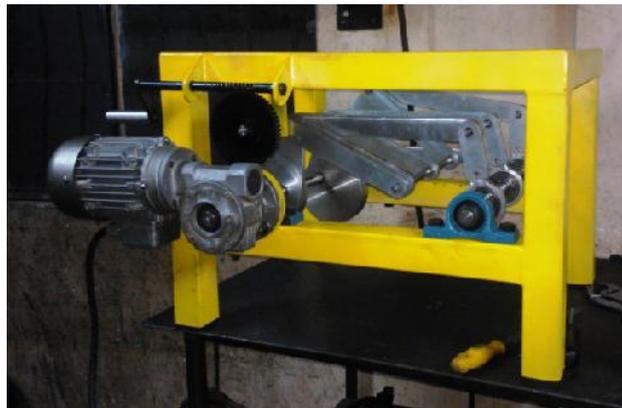


Figura 4. 6 Prototipo con motor instalado

Fuente: Investigadores

4.2.2 ACCESORIOS

1.- Se colocaron las planchas de policarbonato en los frentes del prototipo asegurándolas con remaches.

12.- Se colocó la rueda codificada para medición de velocidad asegurándola con un prisionero.

4.2.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Para el montaje del tacómetro se colocó la rueda de aluminio en el eje ajustándolo con un prisionero, se empernó el soporte del sensor a la bancada para colocar el sensor frente a la rueda a una distancia de aproximadamente 5 mm logrando de esta manera que el sensor tenga un adecuado funcionamiento.

Se conectó el sensor al conector que se encuentra en la caja principal con el display y se conectó el adaptador a la red eléctrica.

4.2.4 ELEMENTOS DE CONTROL ELECTRONICO

El selector on/off para el motor se conectó como indica la figura 4.7:

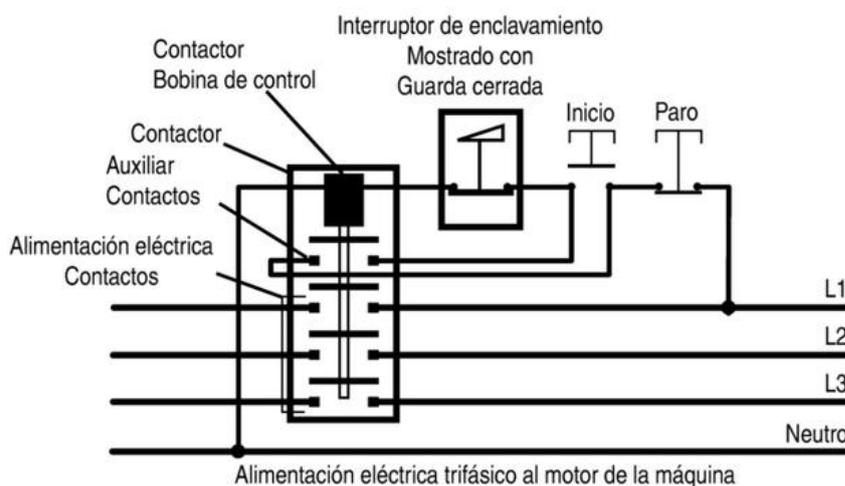


Figura 4. 7 Diagrama de conexión interruptor-motor

Fuente:<http://www.ab.com/es/epub/catalogs/3377539/5866177/3378076/7131359/Dispositivos-l-gicos.html>

4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Una vez que se realizó el montaje completo del prototipo se realizaron las pruebas de funcionamiento del mismo, de esta manera se pudo evidenciar el correcto funcionamiento del prototipo y de ser el caso realizar correcciones necesarias.

Al contar el prototipo con más de un sistema a comprobar, las pruebas de funcionamiento se basaron en dos puntos principales:

- Sistema mecánico
- Sistema eléctrico (instrumentación).

SISTEMA MECANICO

Esta prueba verifica que los mecanismos se encuentren a distancias adecuadas para evitar el roce entre los mismos, ya que esto podría afectar en forma significativa al prototipo.

Se verifica también que la fricción existente entre eslabones no sea lo suficientemente alta como para impedir el libre movimiento de los mismos.

Finalmente se comprueba que el sistema tornillo sin fin – corona tenga el funcionamiento deseado, es decir que logre que la regulación de velocidad pueda fijarse en el punto que el usuario requiera.

PROCEDIMIENTO:

- Encender motor.
- Verificar que los elementos de un mecanismo no tengan contacto con los elementos de otro durante un periodo de 5 minutos.
- Comprobar que la rotación en el eje de salida sea continuo.
- Fijar la regulación de velocidad en un punto específico.

- Constatar que la velocidad en el eje de salida cambie al mover la regulación de un punto a otro.
- Verificar que la temperatura en el motor sea adecuada después de 10 min de funcionamiento.

Tabla 4. 3 Tabla de resultados de prueba de funcionamiento mecánico

Verificación	Partes	Estado	Tiempo	Observaciones
Contacto	Mecanismo 1	OK	5 min	Lubricar mecanismos para suavizar movimiento
	Mecanismo 2	OK		
	Mecanismo 3	OK		
Rotación	Eje de salida	OK	2 min	
Regulación de velocidad	Tornillo sin fin-corona	OK	3 min	
Variación velocidad de salida	Eje de salida, tornillo sin fin-corona	OK	3 min	
Temperatura motor	Motor	OK	10 min	

Fuente: Investigadores

La tabla 4.3 muestra los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento mecánico.

SISTEMA ELECTRICO

Esta prueba verifica el funcionamiento adecuado de las partes del sistema que involucran electricidad, entre ellas la instrumentación y elementos de control electrónico.

PROCEDIMIENTO

- Verificar que la conexión de todas las partes sea la correcta, por seguridad del equipo.
- Asegurar la rueda codificada para medición de velocidad.
- Colocar el sensor óptico frente a la rueda codificada asegurándose que la distancia entre el sensor y los canales de la rueda sea máximo 5 mm.

- Encender el motor.
- Observar las medidas en rpm que indica el display del tacómetro y comparar el valor teórico con el obtenido experimentalmente.

Tabla 4. 4 Tabla de resultados de prueba de funcionamiento eléctrico

Verificación	Partes	Estado	Tiempo	Observaciones
Conexiones	Motor	OK	2 min	Evitar golpear de alguna manera al sensor.
	Tacómetro	OK		
Distancia sensor óptico	sensor óptico, rueda codificada	OK	3 min	
Regulación de velocidad	Tornillo sin fin-corona	OK	3 min	
Medidas rpm	Eje de salida, tornillo sin fin-corona	OK	5 min	

Fuente: Investigadores

La tabla 4.4 muestra los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento eléctrico.

Para realizar la comparación de los valores teóricos de velocidad con los experimentales se tomaron los valores pico de la gráfica de velocidad de la figura 3.11.

El desarrollo de este análisis se encuentra detallado en el Anexo E.

4.3.1 ANALISIS DE RESULTADOS

Como se puede observar en la tabla 4.3 en las prueba mecánicas se obtuvieron los resultados esperados, es decir el funcionamiento mecánico

del sistema es correcto y se puede evidenciar que el prototipo no tendrá problemas en su funcionamiento mecánico.

Las pruebas del funcionamiento del sensor de velocidad denotan que el prototipo funciona correctamente, en torno a los valores teóricos tiene un rango aceptable de error, pero a su vez este margen de error se le atribuye a las bajas revoluciones en el eje de salida y al número de marcas de la rueda para medición, ya que a menores revoluciones para aumentar la apreciación del sensor se requiere un mayor número de ranuras.

Según los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento se puede validar el funcionamiento correcto del prototipo.

CAPÍTULO 5

GUÍA DE PRÁCTICAS

5. 1 ELABORACIÓN DE LA GUÍA DE PRÁCTICAS

5.1. 1 TEMA

Transmisión Continua Variable

5.1. 2 OBJETIVOS

- Comprender el principio de funcionamiento del prototipo de transmisión continua variable tipo eslabonamiento.
- Calcular la velocidad de salida teórica del prototipo de transmisión continua variable.
- Comparar la velocidad de salida teórica y la velocidad de salida obtenida en el prototipo de transmisión continua variable.
- Analizar la capacidad de variación de velocidad de un sistema de transmisión continua variable.
- Calcular el error existente entre las velocidades de salidas teórica y práctica y analizar los resultados obtenidos.

5.1. 3 MARCO TEÓRICO

La transmisión es uno de los elementos mecánicos más importantes del automóvil y por ende, las marcas invierten fuertes cantidades en su desarrollo. Las cajas CVT son un interesante resultado de esa investigación.

¿Qué es un CVT?

Un CVT es una transmisión cuya principal característica es que puede cambiando en forma continua a través de un número infinito de relaciones de transmisión, contrastando de esta manera con transmisiones convencionales

de los automóviles las están restringidas a 5 o 6 relaciones de transmisión en su gran mayoría (Palleiro, 2008).

Tipos de CVT

Dentro de los principales tipos de CVT se encuentran los siguientes:

- **Poleas de Diámetro Variable.**

Se los llama CVT de poleas de diámetro variable debido a que las relaciones de transmisión del sistema mediante la modificación de la distancia entre los conos que conforman tanto la polea conductora como la polea conducida. Cuando la distancia entre dichos conos se agranda, el diámetro de la polea se reduce, mientras que si dicha distancia disminuye, el diámetro de la polea se incrementará (Yao, 2008).

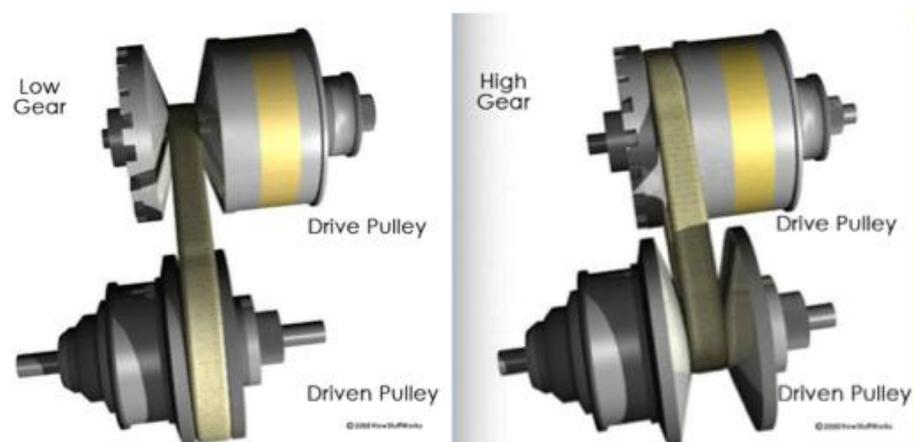


Figura 1. CVT poleas de diámetro variable

- **Toroidal.**

Los CVT Toroidales ocupan dos discos en lugar de las poleas y dos ruedas hacen las veces de la correa de transmisión. Los rodillos giran alrededor de un eje horizontal, además también se inclinan hacia adentro y hacia fuera alrededor de un eje vertical. La transmisión del torque se logra gracias a la fuerza de fricción que

existe entre los discos y los rodillos, así mientras los rodillos hacen contacto con el diámetro más grande del disco motriz, en el disco conducido hacen contacto en el diámetro más pequeño, generando de esta manera una relación de transmisión (Yao, 2008).

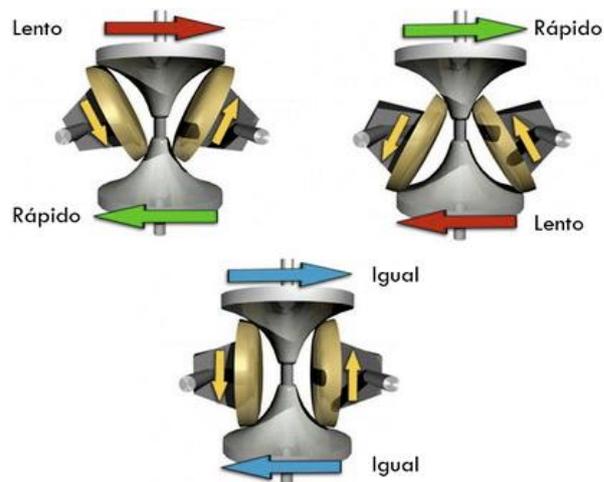


Figura 2. CVT toroidal

- **Hidráulico.**

La potencia del motor es transmitida mediante un flujo de fluido hacia eje de salida. Esto se logra mediante la utilización de una bomba de desplazamiento variable y un motor hidráulico. El motor activa la bomba de desplazamiento variable la cual transmite la fuerza al fluido hidráulico, el que su vez transmite la fuerza al motor hidráulico que gira solidario al eje de salida.

- **Tipo Eslabonamiento.**

Se caracterizan por convertir un movimiento uniforme en un movimiento alternativo o de vaivén para posteriormente rectificarlo y convertirlo nuevamente en un movimiento bastante uniforme. Esto se logra debido a que existe un mecanismo que produce movimiento alternativo a partir de un movimiento uniforme de entrada,

posteriormente se logra rectificar dicho movimiento de vaivén gracias a una rueda libre o embrague unidireccional (Gibbs, 2009).

5.1. 4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

En el presente prototipo de transmisión continua variable, la velocidad de entrada es constante (125 rpm) y la velocidad del eje de salida varía únicamente al modificar el ángulo del eslabón de regulación, por lo que podemos concluir que la variable independiente es el ángulo θ_4 y la variable dependiente es la velocidad del eje de salida, la cuál va a ser medida con la ayuda de un sensor colocado en la rueda que gira solidaria al eje de salida.

El mecanismo en cual está basado el equipo es el siguiente:

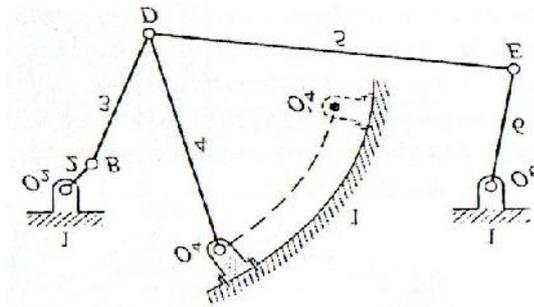


Figura 3. Dibujo de mecanismo

Los nombres de las variables involucradas en los cálculos se han determinado de la siguiente manera:

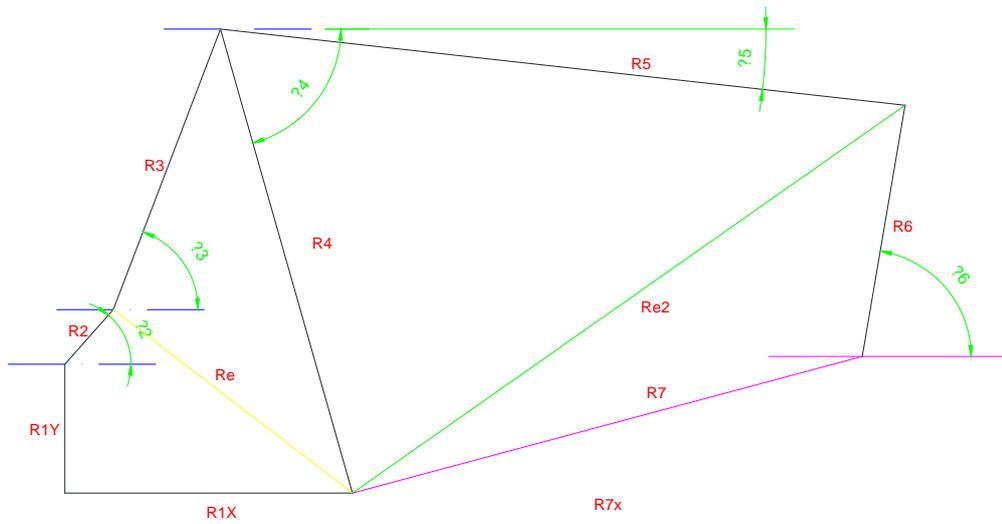


Figura 4. Mecanismo - nomenclatura

5.1. 5 ESQUEMA DEL EQUIPO

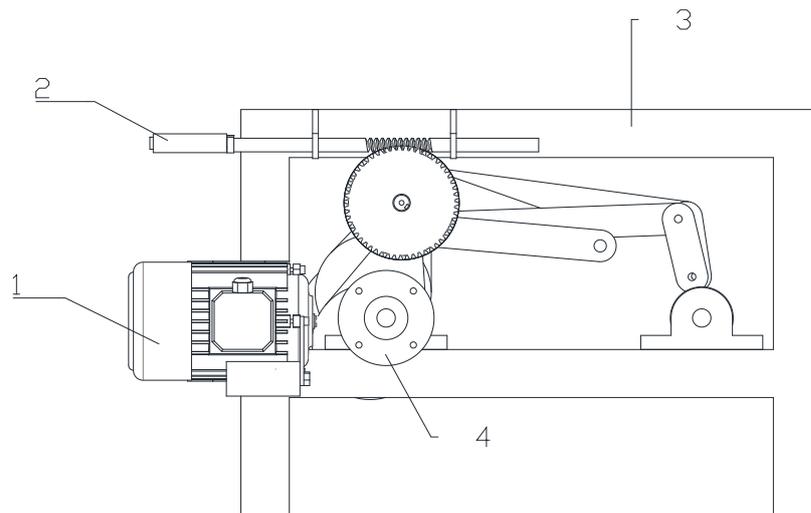


Figura 5. Vista frontal del equipo

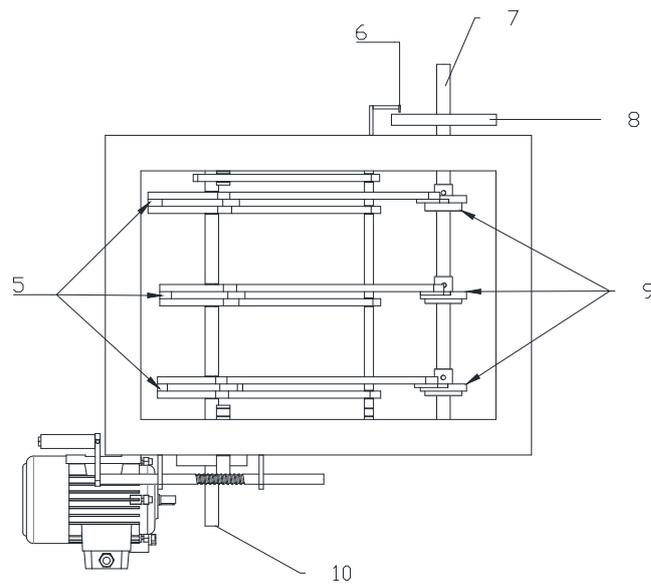


Figura 6. Vista superior del equipo

Nº	ELEMENTO
1	Motor Eléctrico
2	Manivela de Regulación
3	Bancada
4	Motoreductor
5	Mecanismos
6	Sensor de Velocidad
7	Eje de salida
8	Rueda
9	Rodamientos Unidireccionales
10	Eje entrada

Tabla 1. Partes del equipo

5.1.6 PROCEDIMIENTO

1. Antes de encender el equipo, verificar visualmente que todos los elementos se encuentren correctamente en su lugar, cualquier anomalía comunicar al encargado del laboratorio.
2. Encender el equipo mediante el switch ON/OFF e inmediatamente accionar el botón de start (la no activación inmediata del botón start puede causar sobrecalentamiento del motor).
3. Una vez encendido el equipo, verificar que el funcionamiento del mismo sea el adecuado, libre de vibraciones excesivas y ruidos extraños, cualquier anomalía comunicar al encargado del laboratorio.
4. Variar el ángulo de la regulación mediante el giro del conjunto rueda-tornillo sin fin dentro del rango especificado (Nota: no variar el ángulo fuera de los rangos establecidos ya que podría causar anomalías en el funcionamiento del mismo).
5. Observar en la pantalla la velocidad de salida captada por el sensor correspondiente al ángulo establecido en el paso anterior.
6. Vuelva a repetir los pasos 4 y 5 las veces requeridas.

5.1.7 TABULACIÓN DE DATOS

#	θ_4 [deg]	θ_4 [rad]	ω_{salida} (rpm)	ω_{salida} (rad/s)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

7				
8				
9				
10				

Tabla 2. Partes del equipo

5.1. 8 CUESTIONARIO

1. Calcule la velocidad de salida teórica.
2. Realice y analice el gráfico θ_4 vs ω_6 teórica.
3. Realice y analice el gráfico θ_4 vs ω_6 real.
4. Realice el cálculo del error existente entre ambas velocidades.

5.1. 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. 10 ANEXOS

Datos

$$R_{cx} := 1.636$$

$$R_{cy} := 11.941$$

$$a_{x0} := 12.723$$

$$a_{y0} := -5.806$$

$$\alpha := 0, 0.1.. 0.837758$$

$$R(\alpha) := \left[[R_{cx} + (R_{cy})i] + [(a_{x0} - R_{cx}) + (a_{y0} - R_{cy})i] e^{i\alpha} \right]$$

Re(R(α)) =

12.723
14.439
16.028
17.472
18.759
19.874
20.807
21.549
22.091

Im(R(α)) =

-5.806
-4.61
-3.25
-1.737
-0.088
1.682
3.554
5.51
7.53

$$r1x(\alpha) := \text{Re}(R(\alpha))$$

$$r1y(\alpha) := \text{Im}(R(\alpha))$$

$$\theta2 := 0, 0.1.. 2 \cdot \pi$$

$$r2 := 3.261$$

$$r4 := 21.707$$

$$r3 := 13.502$$

$$k1(\alpha) := r4^2 + r2^2 + r1x(\alpha)^2 + r1y(\alpha)^2 - r3^2$$

$$A(\theta2, \alpha) := k1(\alpha) - 2 \cdot r4 \cdot r1x(\alpha) - 2 \cdot r1x(\alpha) \cdot r2 \cdot \cos(\theta2) - 2 \cdot r2 \cdot r1y(\alpha) \cdot \sin(\theta2) + 2 \cdot r4 \cdot r2 \cdot \cos(\theta2)$$

$$B(\theta2, \alpha) := 4 \cdot r4 \cdot r1y(\alpha) - 4 \cdot r2 \cdot r4 \cdot \sin(\theta2)$$

$$C(\theta2, \alpha) := (2 \cdot r4 \cdot r1x(\alpha) + k1(\alpha) - 2 \cdot r2 \cdot r1x(\alpha) \cdot \cos(\theta2)) - 2 \cdot r2 \cdot r1y(\alpha) \cdot \sin(\theta2) - 2 \cdot r4 \cdot r2 \cdot \cos(\theta2)$$

$$\theta4(\theta2, \alpha) := 2 \cdot \text{atan} \left(\frac{-B(\theta2, \alpha) - \sqrt{B(\theta2, \alpha)^2 - 4 \cdot A(\theta2, \alpha) \cdot C(\theta2, \alpha)}}{2 \cdot A(\theta2, \alpha)} \right)$$

$$\theta_3(\theta_2, \alpha) := \arccos\left(\frac{r_1 x(\alpha) + r_4 \cos(\theta_4(\theta_2, \alpha)) - r_2 \cos(\theta_2)}{r_3}\right)$$

$$\omega_4(\theta_2, \alpha) := \frac{r_2 \cdot \omega_2 \cdot \sin((\theta_3(\theta_2, \alpha) - \theta_2))}{r_4 \cdot \sin(\theta_3(\theta_2, \alpha) - \theta_4(\theta_2, \alpha))}$$

$$\omega_3(\theta_2, \alpha) := \frac{r_4 \cdot \omega_4(\theta_2, \alpha) \cdot \cos(\theta_4(\theta_2, \alpha)) - r_2 \cdot \omega_2 \cdot \cos(\theta_2)}{r_3 \cdot \cos(\theta_3(\theta_2, \alpha))}$$

$$R1 := 35.272$$

$$r6 := 11.839$$

$$r5 := 30.477$$

$$k2 := R1^2 + r6^2 + r2^2 + r3^2 - r5^2$$

$$D(\theta_2, \alpha) := k2 - 2 \cdot R1 \cdot r6 - 2 \cdot R1 \cdot r2 \cdot \cos(\theta_2) - 2 \cdot R1 \cdot r3 \cdot \cos(\theta_3(\theta_2, \alpha)) + 2 \cdot r6 \cdot r2 \cdot \cos(\theta_2) + 2 \cdot r6 \cdot r3 \cdot \cos(\theta_3(\theta_2, \alpha))$$

$$+ 2 \cdot r2 \cdot r3 \cdot \cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3(\theta_2, \alpha)) + 2 \cdot r2 \cdot r3 \cdot \sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3(\theta_2, \alpha))$$

$$E(\theta_2, \alpha) := -4 \cdot r6 \cdot r2 \cdot \sin(\theta_2) - 4 \cdot r6 \cdot r3 \cdot \sin(\theta_3(\theta_2, \alpha))$$

$$F(\theta_2, \alpha) := 2 \cdot R1 \cdot r6 - 2 \cdot R1 \cdot r2 \cdot \cos(\theta_2) - 2 \cdot R1 \cdot r3 \cdot \cos(\theta_3(\theta_2, \alpha)) - 2 \cdot r6 \cdot r2 \cdot \cos(\theta_2) - 2 \cdot r6 \cdot r3 \cdot \cos(\theta_3(\theta_2, \alpha))$$

$$+ 2 \cdot r2 \cdot r3 \cdot \cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3(\theta_2, \alpha)) + 2 \cdot r2 \cdot r3 \cdot \sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3(\theta_2, \alpha)) + k2$$

$$\theta_6(\theta_2, \alpha) := 2 \cdot \operatorname{atan}\left(\frac{-E(\theta_2, \alpha) - \sqrt{E(\theta_2, \alpha)^2 - 4 \cdot D(\theta_2, \alpha) \cdot F(\theta_2, \alpha)}}{2 \cdot D(\theta_2, \alpha)}\right)$$

$$\theta_5(\theta_2, \alpha) := \arcsin\left(\frac{r6 \cdot \sin(\theta_6(\theta_2, \alpha)) - r2 \cdot \sin(\theta_2) - r3 \cdot \sin(\theta_3(\theta_2, \alpha))}{r5}\right)$$

$$\omega_6(\theta_2, \alpha) := \frac{r2 \cdot \omega_2 \cdot \sin(\theta_2 - \theta_5(\theta_2, \alpha)) + r3 \cdot \omega_3(\theta_2, \alpha) \cdot \sin(\theta_3(\theta_2, \alpha) - \theta_5(\theta_2, \alpha))}{r6 \cdot \sin(\theta_6(\theta_2, \alpha) - \theta_5(\theta_2, \alpha))}$$

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

6.1 PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

El presupuesto de inversión se realizó tomando en cuenta los ítems que se detallan en la tabla 6.1:

Tabla 6. 1 Presupuesto de inversión

TOTAL COSTOS GENERALES	
1. Honorarios Profesionales	2000
2. Honorarios Estudiantes	1800
3. Materiales y mano de obra	690
4. Accesorios	530
5. Otros	280
Subtotal	5300
6. IMPREVISTOS (10% del Subtotal)	530
7. TOTAL GENERAL (USD)	5830

Fuente: Investigadores

Este presupuesto se aprobó como una medida aproximada del costo que tendría la realización del prototipo, el mismo que puede tener variaciones en la ejecución del proyecto.

6.2 ANÁLISIS ECONÓMICO.

6.2.1 COSTOS DIRECTOS

Son los costos que hacen referencia a la construcción del proyecto, como mano de obra utilizada para el montaje, materiales, costo de diseño, equipos, entre otros, la tabla a continuación muestra los costos totales los mismos que se desglosan en los subcapítulos 6.2.1.1 y 6.2.2.2; la tabla 6.2 detalla dichos costos.

Tabla 6. 2 Costo directo total

COSTO DIRECTO TOTAL	
DESCRIPCION	TOTAL USD
Mano de obra directa	\$ 860.00
Costo diseño	\$ 1,200.00
Costo materiales y equipos	1064.56
TOTAL USD	\$ 2,264.56

Fuente: Investigadores

6.2.1.1 Equipos y materiales

Tabla 6. 3 Costo de equipos y materiales

MATERIALES Y EQUIPOS				
ORD	CANT	DESCRIPCION	V.UNIT	TOTAL
1	1	Tubo cuadrado 50x50x2 mm	\$ 45.00	\$ 45.00
2	3	Disco aluminio 120x25 mm	\$ 22.00	\$ 66.00
3	3	Disco aluminio 120x12 mm	\$ 10.00	\$ 30.00
3	3	Plancha Aluminio 225x125x10 mm	\$ 5.00	\$ 15.00
4	3	Plancha Aluminio 240x35x12 mm	\$ 8.00	\$ 24.00
5	3	Plancha Aluminio 218x35x12 mm	\$ 7.00	\$ 21.00
6	3	Plancha Aluminio 100x35x12 mm	\$ 5.00	\$ 15.00
7	2	Plancha Aluminio 270x33x11 mm	\$ 6.00	\$ 12.00
8	2	Plancha Aluminio 270x35x12 mm	\$ 6.00	\$ 12.00
9	1	Plancha acero Astm A36 30x20x6 mm	\$ 3.00	\$ 3.00
10	1	Eje acero SAE 1045 25,40x37 mm	\$ 4.00	\$ 4.00
11	1	Eje acero SAE 1045 19,05x2000 mm	\$ 8.00	\$ 8.00
12	1	Disco aluminio 110x50 mm	\$ 15.00	\$ 15.00
13	1	Varilla acero ASTM A709 8 mm	\$ 4.00	\$ 4.00
14	1	Disco acero SAE 1045 150x15 mm	\$ 15.00	\$ 15.00
15	3	Rodamiento antiretorno	\$ 17.36	\$ 52.08
16	4	Pintura en spray	\$ 2.50	\$ 10.00
17	4	Prisioneros	\$ 0.25	\$ 1.00

continuación →

Tabla 6. 3 Costo de equipos y materiales

18	1	Tacometro con sensor óptico	\$ 87.36	\$ 87.36
19	18	Anillo de seguridad para eje $\phi=8\text{mm}$	\$ 0.15	\$ 2.70
20	12	Anillo de seguridad para eje $\phi=1/2''$	\$ 0.96	\$ 11.52
21	10	Anillo de seguridad para eje $\phi=3/4''$	\$ 0.35	\$ 3.50
22	4	Anillo de seguridad para eje $\phi=$ 14 mm	\$ 0.60	\$ 2.40
23	1	Motor 1/4 HP con motoreductor	\$ 250.00	\$ 250.00
24	8	Pernos 3/4" x 15	\$ 0.55	\$ 4.40
25	8	Rodela para perno 3/4"	\$ 0.50	\$ 4.00
26	8	Tuerca para perno 3/4"	\$ 0.10	\$ 0.80
27	3	Planchas acrílico 60x60x3 mm	\$ 45.00	\$ 135.00
28	4	Patas de caucho para bancada	\$ 2.00	\$ 8.00
29	4	Pernos 8 x 50 mm	\$ 0.40	\$ 1.60
30	4	Rodela para perno 8 mm	\$ 0.10	\$ 0.40
31	4	Tuerca para perno 8 mm	\$ 0.20	\$ 0.80
32	4	Plancha de acrílico 600x600x3 mm	\$ 50.00	\$ 200.00
33	2	Microswitch	\$ 2.42	\$ 4.84
			TOTAL	\$ 1,069.56

Fuente: Investigadores

La tabla 6.3 muestra los costos de los equipos y materiales utilizados en la construcción del prototipo.

6.2.1.2 Mano de obra directa

La mano de obra directa es el recurso humano indispensable que se requiere para que el prototipo funcione, la tabla 6.4 detalla los costos de la mano de obra directa utilizada para la construcción del prototipo. La tabla 6.5 muestra los costos de diseño del proyecto.

Tabla 6. 4 Costo mano de obra directa

MANO DE OBRA DIRECTA		
ORD.	DESCRIPCION	TOTAL
1	Maestro Metal Mecánico	\$ 700.00
2	Maestro soldador	\$ 60.00
3	Ayudantes mecanicos	\$ 100.00
TOTAL USD		\$ 860.00

Fuente: Investigadores

Tabla 6. 5 Costo diseño

COSTO DISEÑO		
NOMBRE	LABOR	TOTAL
Sr. Juan Herrera	Responsable proyecto CVT	\$ 600.00
Sr. Javier Jiménez	Responsable proyecto CVT	\$ 600.00
TOTAL USD		\$ 1,200.00

Fuente: Investigadores

6.2.2 COSTOS INDIRECTOS

Estos costos describen la mano de obra indirecta, cualquier gasto administrativo y gastos varios que no estuvieron contemplados en el presupuesto pero fueron necesarios para la realización del proyecto, los costos indirectos involucrados se muestran en la tabla 6.6.

Tabla 6. 6 Costo indirecto total

COSTOS INDIRECTOS		
NO	DESCRIPCION	TOTAL
1	Impresiones	\$ 20.00
2	Transporte	\$ 40.00
3	Varios	\$ 100.00
TOTAL USD		\$ 160.00

Fuente: Investigadores

6.2.3 COSTO TOTAL

Para el costo total del proyecto se debe sumar el costo directo total con el costo indirecto total, dicha suma se encuentra en la tabla 6.7:

Tabla 6. 7 Costo total

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	
DESCRIPCION	TOTAL
Costos directos	\$ 2,264.56
Costos indirectos	\$ 160.00
TOTAL USD	\$ 2,424.56

Fuente: Investigadores

6.2.4 BENEFICIO

Se debe evaluar el beneficio del proyecto para de esta manera determinar si el proyecto es o no viable. En nuestro caso al ser un proyecto sin fines de lucro, el beneficio se evaluará en torno al desarrollo del conocimiento del estudiante del DECEM.

Este proyecto se basa en la ampliación del área práctica para el estudiante del DECEM, por lo que se puede afirmar que el proyecto es viable debido al beneficio que recibirán los estudiantes al realizar prácticas con el mismo.

6.3 ANÁLISIS FINANCIERO

El presente proyecto al ser un proyecto sin fin de lucro, no puede ser evaluado con los métodos convencionales de análisis financiero como son los cálculos del valor actual neto y la tasa interna de retorno, sin embargo se ha avalado por medio del análisis costo/beneficio.

6.3.1 ANALISIS COSTO/BENEFICIO

El beneficio del proyecto es un beneficio intangible ya que no lo podemos valorar económicamente, si bien es cierto el costo del proyecto lo conocemos al ser el beneficio un valor desconocido se deben señalar los beneficios que obtiene el beneficiario al recibir el proyecto.

El beneficiario directo del proyecto es el estudiante del DECEM ya que el proyecto aporta significativamente para el desarrollo del conocimiento adquirido en lo que a nueva tecnología se refiere; razón por la cual se justifica favorablemente la inversión realizada en el proyecto siendo mayor el beneficio que el costo del mismo.

6.4 ANÁLISIS DE IMPACTO SOCIAL-ECONOMICO

El proyecto responde favorablemente en lo que refiere a un análisis social-económico ya que fue realizado con el fin de beneficiar al estudiante y ser de aporte para el alumno del DECEM.

Los estudiantes del DECEM contarán con una herramienta didáctica que ayudará a expandir sus conocimientos en el área de los mecanismos de transmisión de velocidad y a su vez el área tecnológica, ya que el prototipo utiliza un principio de funcionamiento que actualmente está siendo utilizada no solamente en el área automotriz sino en el área industrial en lo que refiere a maquinaria que requiere cambios de velocidad de operación según las necesidades del proceso; razón por la cual se puede afirmar que el proyecto tiene un impacto alto positivo.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- 1.- Se construyó un prototipo capaz de mostrar de manera sencilla el principio de funcionamiento de los transmisores de velocidad de variable continua.
- 2.- Se utilizó la velocidad adecuada para el funcionamiento del prototipo ya que en las pruebas de funcionamiento se pudo comprobar que el movimiento puede dificultarse con la fricción excesiva en los eslabones.
- 3.- Se determinó que para que el tacómetro con sensor óptico funcione de mejor manera debería usarse una rueda con un mayor número de canales para de esta manera tener mayor información por segundo.
- 4 Mediante el software de sistemas multicuerpos se pudo conocer con antelación el comportamiento y sobretodo los impedimentos que tendría el prototipo no solo en su funcionamiento sino también en el montaje, por lo que se considera de suma importancia realizar este tipo de análisis antes de la construcción.
- 5.- Para que el prototipo tenga un óptimo funcionamiento se debe tomar en cuenta la lubricación de cada mecanismo, comprobar que los rodamientos se encuentren en buen estado, que el sistema tornillo sin fin – corona cumpla su función de fijar en cualquier punto la regulación de velocidad sin retornar por acción del peso de los eslabones.

7.2 RECOMENDACIONES

- 1.- Lubricar los mecanismos con aceite en las partes donde la fricción se presenta de manera significativa para evitar de esta manera que el prototipo falle de manera alguna.
- 2.- Mejorar la instrumentación del prototipo con un sensor que funcione con mayor precisión a bajas revoluciones, de esta manera se logrará realizar la toma de datos para más posiciones en la regulación de velocidad.
- 3.- Alimentar al motor del prototipo con una corriente de 220V trifásica para que el motor no pierda potencia debido al cambio de corriente.
- 4.- Se recomienda no forzar el mecanismo al momento de colocarlo en las posiciones de mínima y máxima velocidad ya que de esta manera se está obligando a trabajar al sistema de forma forzada lo que puede significar una falla en el mecanismo.
- 5.- Se recomienda engrasar el sistema tornillo sin fin – corona para evitar un movimiento forzado, si se observa un movimiento brusco del sistema se deberá apagar el equipo y revisar el sistema.

REFERENCIAS

Chelhorn, W. (2010). *Mechanics of machines* (International edition ed.). (O. U. Press, Ed.) Estados Unidos.

Olmedo, F. (2009). *Mecanismos* (1ra edicion ed.). Quito, Pichinca, Ecuador.

(s.f.). Recuperado el 24 de 03 de 2014, de Tecnun:

<http://www1.ceit.es/asignaturas/TeorMaq1/Apuntes/Cap7.pdf>

(s.f.). Recuperado el 15 de 03 de 2014, de Aprendemos Tecnologia:

<http://aprendemostecnologia.org/maquinas-y-mecanismos/mecanismos-de-transformacion-del-movimiento/>

(s.f.). Recuperado el 17 de 03 de 2014, de Ferretería Univérsitas:

<http://www.ferreteriauniversitas.com/poleas-pozo-elevacio/5984-polea-sencilla-cierre-segur-8428837322508.html>

(s.f.). Recuperado el 17 de 03 de 2014, de 50Webs:

<http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/trasnmission.htm>

(s.f.). Recuperado el 18 de 03 de 2014, de Cnice:

http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_polea.htm

(s.f.). Recuperado el 19 de 03 de 2014, de UPM:

<http://gestion.euiti.upm.es/index/departamentos/mecanica/C-%20instalaciones.htm>

(5 de agosto de 2007). Recuperado el 19 de 03 de 2014, de Rosario Jeep:
<http://www.rosariojeep.com.ar/foro/viewtopic.php?f=7&t=12411>

(2008). Recuperado el 26 de 03 de 2014, de InsightCentral.net:
<http://www.insightcentral.net/encyclopedia/encvt.html>

(19 de 09 de 2008). Recuperado el 17 de 03 de 2014, de CVT- Continuously
Variable Transmission: <http://cvt.com.sapo.pt/ivt/ivt.htm>

(19 de Septiembre de 2008). Recuperado el 26 de 03 de 2014, de CVT-
Continuously Variable Transmission:
<http://cvt.com.sapo.pt/ratcheting/ratcheting.htm>

(19 de septiembre de 2008). Recuperado el 19 de 03 de 2014, de CVT-
Continuously Variable Transmission:
<http://cvt.com.sapo.pt/hydrostatic/hydrostatic.htm>

(20 de abril de 2011). Recuperado el 18 de 03 de 2014, de Garaget:
<http://www.garaget.org/forum/viewtopic.php?id=281316>

(23 de 10 de 2013). Recuperado el 27 de 03 de 2014, de Wikipedia:
http://en.wikipedia.org/wiki/Constantinesco_%28automobile%29

BASQUESEAU, L. (s.f.). Recuperado el 18 de 03 de 2014, de Monografias:
<http://www.monografias.com/trabajos10/aplicac/aplicac.shtml>

Bonnier Corp. (2014). Recuperado el 24 de 03 de 2014, de ATV Rider:
http://www.atvrideronline.com/tech/0903_atvp_replacing_cvt_belt/photo_11.html

Campos, W. (7 de agosto de 2010). Recuperado el 18 de 03 de 2014, de Fundamentos de Máquinas:
<http://fundamentosdemaquinaswmn.blogspot.com/2010/08/lzkmcldsklfckd.html>

CEJAROSU. (2005). Recuperado el 14 de 03 de 2014, de
http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_palanca.htm

Cleghorn, W. L. (2010). *Mechanics of Machines*. New York: Oxford University Press.

Crowe, P. (25 de 09 de 2013). Recuperado el 27 de 03 de 2014, de hybridcars: <http://www.hybridcars.com/basic-cvt-insight/>

Diego, R. d. (s.f.). Recuperado el 14 de 03 de 2014, de
<http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/trasnmission.htm>

Dufey, J., Kreps, R., Hernandez, H., & Reyes, M. (02 de 2014). Recuperado el 26 de 03 de 2014, de Scribd:
<http://www.scribd.com/doc/205482249/Transmision-variable-continua-CVT>

ESO. (s.f.). Recuperado el 15 de 03 de 2014, de Aulatecnologia:
<http://www.aulatecnologia.com/ESO/SEGUNDO/teoria/mecanismos/mecanismos.htm>

Garzon, J. (18 de abril de 2013). Recuperado el 18 de 03 de 2014, de EL AUTOMÓVIL AL DESNUDO :
<http://jeroitim.blogspot.com/2013/04/sistema-de-transmision-en-vehiculos.html>

Gibbs, J. (05 de 2009). Recuperado el 26 de 03 de 2014, de OhioLINK:
https://etd.ohiolink.edu/rws_etd/document/get/akron1238819759/inline

Guisasola, I. (s.f.). Recuperado el 25 de 03 de 2014, de Tecnun:
http://www.tecnun.es/automocion/proyectos/Transmision_continua/InigoProyectoCVT.pdf

Harris, W. (s.f.). Recuperado el 28 de 03 de 2014, de HowStuffWorks:
<http://auto.howstuffworks.com/cvt.htm>

Jiménez, I. R. (4 de 06 de 2007). Recuperado el 26 de 3 de 2014, de Instituto Nacional de Aprendizaje:
http://www.ina.ac.cr/mecanica_de_vehiculos/nuevas%20tecnologias%20aplicadas%20en%20las%20cajas%20de%20velocidades%20utilizadas%20en%20%20los%20vehiculos%20livianos.pdf

Joaquim, M. (s.f.). *Findett Corporation*. Recuperado el 30 de 03 de 2014, de
http://www.chemassociates.com/products/findett/CVT_AutoEng.pdf

Longhurst, C. (15 de 12 de 2013). Recuperado el 24 de 03 de 2014, de The Transmission Bible:
http://www.carbibles.com/transmission_bible_pg3.html

Mecanismos. (04 de 2008). Recuperado el 20 de 03 de 2014, de
<http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/mecanismos-transmision.pdf>

Monroy, C. (s.f.). Recuperado el 24 de 03 de 2014, de Tecnología Industrial:
http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/Mecanismos_II_cambios.pdf

MORA, M. (22 de mayo de 2012). Recuperado el 18 de 03 de 2014, de Universidad Internacional del Ecuador:
<http://ciclo4to.blogspot.com/2012/05/tren-de-engranaje-planetario-1.html>

Palleiro, I. (17 de 09 de 2008). Recuperado el 24 de 03 de 2014, de Diariomotor: <http://www.diariomotor.com/2008/09/17/la-transmision-variable-continua-cvt-esa-gran-desconocida/>

Salamanca, A. (7 de noviembre de 2012). Recuperado el 18 de 03 de 2014, de Física para todos:
<http://adrianaygloria2012.blogspot.com/2012/11/polipastos.html>

Setform Limited. (2014). Recuperado el 26 de 03 de 2014, de Engineer Llve:
<http://www.engineerlive.com/content/magnets-offer-alternative-mechanical-gears>

thompson, j. (30 de enero de 2009). Recuperado el 15 de 03 de 2014, de DieselPower:
<http://blogs.dieselpowermag.com/6415982/miscellaneous/and-mechanical-torque-converters/>

Tiposde.org. (2014). Recuperado el 16 de 03 de 2014, de Tiposde.org.

Webacademia. (s.f.). Recuperado el 25 de 03 de 2014, de http://centrodeartigos.com/articulos-noticias-consejos/article_140146.html

Widman. (2009). Recuperado el 15 de 03 de 2014, de Widman Internacional SRL: <http://www.widman.biz/Seleccion/cvt.html>

Yao, C.-H. (01 de 2008). Recuperado el 27 de 03 de 2014, de ProQuest:
<http://www.csa.com/discoveryguides/auto/review5.php>

ANEXOS

ANEXO A

PROGRAMACIÓN EN MATHCAD PARA ANÁLISIS ESTÁTICO DE MECANISMO

ANEXO B

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE TACÓMETRO

ANEXO C

PLANOS MECÁNICOS DE ELEMENTOS CONTRUIDOS

ANEXO D

HOJA DE PROCESOS DE ELEMENTOS CONSTRUIDOS

ANEXO E

PRUEBA EXPERIMENTAL DE VALORES DE VELOCIDAD DE SALIDA DEL PROTOTIPO