



# INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en  
Mecánica Automotriz**

**Autor:** Cristhian Eduardo Cusme Chinga

**Tutor:** Ing. Edgar Vera Puebla, MSc.

**Simulación Comparativa del Mecanismo de Leva  
Seguidor del Sistema de Distribución de un Suzuki Modelo  
Grand Vitara SZ 2.0**



### **Certificación de Autoría**

Yo, Crithian Eduardo Cusme Chinga, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad intelectual, reglamento y leyes.

---

Crithian Eduardo Cusme Chinga

C.I: 1310505514

### **Aprobación del Tutor**

Yo, Edgar Gustavo Vera Puebla certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su seguridad y autenticidad, como de su contenido

---

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla

Director del Proyecto

## **Dedicatoria**

Tengo el honor de dedicar la presente tesis:

A mis padres Dr. Kliffor Cusme y Lcda. Lucía Chinga quiénes siempre me han presentado su apoyo incondicional sin importar las adversidades y nunca me abandonaron en este viaje de aprendizaje y superación personal, por las enseñanzas y consejos de vida que me brindaron y su amor infinito.

Especial dedicatoria a mis hermanos Xavier Alejandro y Klifford Andres quiénes me acompañaron y brindaron su apoyo en mi proceso estudiantil.

También expresar mis agradecimientos en este maravilloso viaje a mi mejor amiga Veronica Mera Moreira por nunca dejar de apoyarme y reconfortarme junto a su abuela querida la señora Margarita Pozo quién ha sido como una segunda madre para mí.

A mis familiares más cercanos que con sus granitos de arena sin saberlo fueron parte fundamental de mi fortaleza para seguir adelante como lo fue: mi tía Edita Cusme Sabando junto a mi tío Galo Buste así como a mi tía Rosa Zambrano y mi tío Roberto Carvajal, sin olvidarme del amor y el apoyo brindado en todo momento a mi prima hermana Ana Alejandra Vásquez.

***Cristhian Eduardo Cusme Chinga***

## **Agradecimientos**

Mi más sincera gratitud con la prestigiosa Universidad Internacional del Ecuador – Sede Guayaquil y en especial al equipo de trabajo de la escuela de ingeniería automotriz quiénes siempre estuvieron dispuestos a brindarme las facilidades necesarias para mis procesos educativos como estudiante.

Un agradecimiento a todos quiénes fueron mis compañeros de clases durante mis distintos cursos educativos con quiénes pude formar una excelente relación educativa y de amistad a lo largo de estos años.

***Cristhian Eduardo Cusme Chinga***

## Índice General

Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tablas.....	xiii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
Capítulo I.....	1
Problema de la Investigación.....	1
1.1. Tema de Investigación.....	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	1
1.3. Formulación del Problema.....	3
1.4. Sistematización del Problema.....	3
1.5. Objetivos de la Investigación.....	3
1.5.1. Objetivo General.....	3
1.5.2. Objetivos Específicos.....	3
1.6. Justificación e Importancia de la Investigación.....	3
1.6.1. Justificación Teórica.....	4
1.6.2. Justificación Metodológica.....	4
1.6.3. Justificación Práctica.....	5
1.6.4. Delimitación Temporal.....	5
1.6.5. Delimitación Geográfica.....	5

1.6.6.	Delimitación del Contenido .....	5
1.7.	Alcance.....	6
	Capítulo II.....	7
2.	Marco de Referencia .....	7
2.1.	Sistema Leva Seguidor.....	7
2.2.	Perfiles de Leva.....	8
2.3	Sistema de Distribución .....	9
2.3.1.	Tipos de Distribución .....	10
2.3.2.	Sistema de Distribución de un Motor y el Montaje de Árboles de Leva .....	18
2.3.3.	Sistema Leva Seguidor y el Recorrido Lineal que Produce Sobre la Válvula.....	19
2.4.	Funcionamiento del Mecanismo Leva Seguidor .....	19
2.4.1.	Tipos de Mecanismo Leva Seguidor .....	20
2.5.	Ventajas y Desventajas del Mecanismo Leva Seguidor.....	21
2.5.1	Aplicaciones del Mecanismo Leva Seguidor .....	23
2.6	Diseño en CAD (Diseño Asistido por Ordenador).....	24
2.7	Simulación de un Sistema Leva Seguidor .....	25
2.8	Motor J20A .....	26
2.8.1	Desventajas del Motor J20A de Suzuki .....	28
2.8.2	Cabezote de Motor J20A.....	30
	Capítulo III.....	31
3.	Método de Modelado .....	31
3.1.	Método .....	32
3.2.	Toma de Medidas de la Leva .....	32

3.3.	Boceto en CAD .....	37
3.4.	Dibujo y Simulación Sistema Leva Seguidor .....	43
3.5.	Simulación y Obtención de Gráficas.....	49
Capítulo IV .....		59
4.	Análisis de Resultados .....	59
4.1.	Análisis Transitorio .....	59
4.2.	Análisis de Resultados .....	61
Conclusiones.....		62
Recomendaciones .....		63
Bibliografía.....		65

## Índice de Figuras

Figura 1 <i>Sistema Leva Seguidor</i> .....	8
Figura 2 <i>Sistemas de distribución por correa</i> .....	10
Figura 3 <i>Distribución por cadena</i> .....	11
Figura 4 <i>Sistema de distribución por piñones o ruedas delanteras</i> .....	12
Figura 5 <i>Sistema de Distribución Variable VVT-I</i> .....	14
Figura 6 <i>Sistema de Distribución Variable Valvelift</i> .....	14
Figura 7 <i>Sistema de Distribución Variable Valvetronic</i> .....	16
Figura 8 <i>Sistema de Distribución Variable VTEC</i> .....	17
Figura 9 <i>Sistema de Distribución Variable Multi-Air</i> .....	18
Figura 10 <i>Tipos de Mecanismos Leva Seguidor</i> .....	21
Figura 11 <i>Diseño de una Leva en AutoCAD</i> .....	24
Figura 12 <i>Simulación Matemática</i> .....	25
Figura 13 <i>Código de Partes Árbol de Levas Admisión y Escape de Motor J20A</i> .....	32
Figura 14 <i>Árbol de Leva Admisión y Escape Motor J20A</i> .....	33
Figura 15 <i>Des Emplasticado del Árbol de Leva de su Envoltura Original</i> .....	34
Figura 16 <i>Medición del Diámetro Menor de la Leva con Equipo Digital</i> .....	34
Figura 17 <i>Medición de Diámetro Interno con Calibrador Normal</i> .....	35
Figura 18 <i>Medición Diámetro Mayor de Leva con Herramienta Digital</i> .....	36
Figura 19 <i>Medición de Diámetro Mayor de la Leva con equipo Normal</i> .....	36
Figura 20 <i>Boceto Inicial de la Leva</i> .....	37
Figura 21 <i>Cotas de Medidas de Leva en Autodesk Inventor</i> .....	39
Figura 22 <i>Piezas de un Modelo Ideal en un Sistema Leva Seguidor</i> .....	40

Figura 23 Armado de las Piezas Involucradas en la Simulación .....	41
Figura 24 Sistema Ideal Leva Seguidor en Vista Lateral .....	41
Figura 25 Ejemplificación del Accionamiento del Mecanismo Leva Seguidor .....	42
Figura 26 Diámetro Mayor Leva Escenario 1 .....	43
Figura 27 Diámetro Mayor Leva Escenario 1 .....	44
Figura 28 Extrusión y Unión de Ambas Circunferencias .....	44
Figura 29 Empalmado de la Leva una vez Diseñada.....	45
Figura 30 Elaboración del Eje de Leva .....	46
Figura 31 Agujero Aplicado en la Leva .....	46
Figura 32 Boceto de Seguidor con Rodillo .....	47
Figura 33 Extrusión de Seguidor y Rodillo.....	47
Figura 34 Unión entre Leva y Seguidor .....	48
Figura 35 Aplique de Prismático del Rodillo con la Leva .....	49
Figura 36 Parámetros Para la Simulación Leva Seguidor.....	49
Figura 37 Simulación Leva Seguidor Escenario 1.....	50
Figura 38 Gráfica Movimiento vs Tiempo Escenario 1 .....	50
Figura 39 Datos de Movimiento vs Tiempo Leva 1.....	51
Figura 40 Modificación de Diámetro Mayor de Leva .....	52
Figura 41 Modificación de Diámetro Menor de Leva .....	52
Figura 42 Diseño Leva Seguidor Escenario 2 .....	53
Figura 43 Gráfica Movimiento vs Tiempo Escenario 2 .....	53
Figura 44 Datos de Movimiento vs Tiempo Leva 2.....	54
Figura 45 Boceto Inicial Leva de Escape .....	54

Figura 46 <i>Extrusión y Formación de Leva de Escape</i> .....	55
Figura 47 <i>Gráfica Movimiento vs Tiempo Escenario 3</i> .....	56
Figura 48 <i>Datos de Movimiento vs Tiempo Leva 3</i> .....	56
Figura 49 <i>Boceto Leva de Escape Desgastada</i> .....	57
Figura 50 <i>Extrusión de Leva de Escape Desgastada</i> .....	57
Figura 51 <i>Gráfica Movimiento vs Tiempo Escenario 4</i> .....	58
Figura 52 <i>Datos de Movimiento vs Tiempo Leva 4</i> .....	58

## Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Propiedades del Motor J20A de Suzuki</i> .....	27
Tabla 2. <i>Bloque de Cilindros (especificaciones Suzuki Grand Vitara SZ)</i> .....	29
Tabla 3. <i>Características del Cabezote del Motor J20A</i> .....	30
Tabla 4. <i>Comparativa Escenario Leva de Admisión</i> .....	61
Tabla 5. <i>Comparativa Escenario Leva de Escape</i> .....	61

## Resumen

El presente estudio investigativo se centra en la utilización de sistemas CAD o programas de ingenierías asistidas por ordenador como Autodesk Inventor y con soporte de SolidWorks y AutoCAD, dado a que en conjunto los programas mencionados nos permitirán generar un boceto, diseño, renderizado de un mecanismo leva seguidor que nos permita estudiar la transformación de movimiento rotativo en uno lineal, tomando en cuenta que el sistema permite que se transfiera el movimiento rotativo inicial de la leva en uno que el seguidor podrá transformar en lineal. Repasaremos los distintos tipos de sistema de leva seguidor existentes y más comunes, el estudio del principio de este trabajo, bajo qué circunstancias se emplean estos sistemas en el área automotriz y la importancia que conllevan con estos, siendo implicados directamente del funcionamiento del sistema de distribución de los motores de combustión interna, que, así como todo sistema del motor ha tenido sus mejoras y avances con lo largo de los años.

**Palabras Clave:** Leva, seguidor, sistema de distribución, simulación, motor de combustión interna.

### **Abstract**

The present investigative study focuses on the use of CAD systems or computer-aided engineering programs such as Autodesk Inventor and with support from SolidWorks and AutoCAD, given that together the aforementioned programs will allow us to generate a sketch, design, rendering of a cam follower mechanism that allows us to study the transformation of rotary movement into a linear one, taking into account that the system allows the initial rotary movement of the cam to be transferred into one that the follower can transform into linear. We will review the different types of existing and most common cam follower systems, the study of the principle of this work, under what circumstances these systems are used in the automotive area and the importance that they entail, being directly involved in the operation of the distribution system. of internal combustion engines, which, like every engine system, has had its improvements and advances over the years.

***Keywords:*** Cam, follower, distribution system, simulation, internal combustion engine.

## Capítulo I

### Problema de la Investigación

#### 1.1. Tema de Investigación

Simulación comparativa del mecanismo de leva seguidor del sistema de distribución de un Suzuki modelo Grand Vitara SZ 2.0.

#### 1.2. Planteamiento del Problema

(Serrano, 2010) relata “Las levas son un elemento mecánico muy utilizado desde la revolución Industrial. Su enorme potencial se centraba en que podían imponer un tipo de movimiento muy preciso con el simple desarrollo de la ley de la leva (o función desplazamiento) y su eficacia no ha sido igualada hasta la aparición de la electrónica y la aplicación de programas de control de los actuadores.

Esta propiedad hizo que, desde hace muchos años, fuera empleada en muchos dispositivos avanzados: las primeras máquinas de calcular (mecánicas) fueron creadas apoyándose en controles efectuados por mecanismos de levas”.

(Serrano, 2010) así mismo comenta que “Hoy en día los mecanismos leva-seguidor también son un elemento ampliamente utilizado en la maquinaria actual, por ejemplo: en motores de combustión interna, telares, máquinas herramientas, sistemas robóticos, etc. Estos sistemas son sencillos y poco costosos, tienen pocas piezas móviles y son compactos.

Además, no son difíciles de diseñar leyes de movimientos del palpador que tengan casi cualquier característica deseada y los perfiles de levas que proporcionan el movimiento requerido son mecanizados por máquinas de control numérico.

Las levas son un tipo de par de cinemático en el que el contacto entre los dos elementos se produce en un único punto (o línea en tres dimensiones). Es habitual llamar leva al elemento

conductor y seguidor al elemento conducido. Antes de que los ordenadores se empleasen en el estudio de este tipo de mecanismos, el método utilizado se basaba en tediosas técnicas gráficas que generaban el perfil mediante la envolvente de las sucesivas posiciones del seguidor alrededor de la leva.

Este estudio cinemático es una parte importante en el diseño de este tipo de mecanismos, por esta razón es fundamental que se lleve a cabo de un modo lo más exacto y completo posible.

Para conseguir una optimización de todos estos cálculos, tanto en su modo y su agilidad de realización, y aprovechando las herramientas informáticas de las que se dispone actualmente, se implementará una aplicación informática que simplificará enormemente la tarea a desarrollar”.

(Campillo de Blas, 2017) establece que “El mecanismo leva-seguidor está formado por dos miembros móviles, donde la leva es el elemento mecánico cuyo movimiento imparte un desplazamiento concreto al seguidor, el cual que se mantiene en todo momento en contacto con ella, ya sea puntual o linealmente. La forma de la leva, la del seguidor, así como la relación física existente entre ambos definen la correspondiente posición que adoptará uno frente al otro.

Generalmente el movimiento de la leva es de rotación, y se transforma en movimiento, o bien de rotación, o bien de traslación del seguidor. Este tipo de mecanismo es sencillo, poco costoso y ocupa un espacio reducido, además de no poseer gran cantidad de piezas móviles, por todo ello es bastante empleado en maquinaria moderna ya que se consiguen desplazamientos muy controlados y precisos.

Es de ahí, que la presente investigación pretende realizar una simulación de las levas usada y nueva a fin de identificar si estas dos opciones realizan el mismo tiempo de recorrido”.

### **1.3. Formulación del Problema**

¿Cómo se puede simular un sistema de la leva de escape de un Grand Vitara SZ en Autodesk Inventor?

### **1.4. Sistematización del Problema**

- ¿Cuáles serán los parámetros para realizar la simulación del sistema de 2 levas una usada y una nueva en Autodesk Inventor?
- ¿Existirá alguna diferencia en las gráficas comparativas de la leva usada y la leva nueva?
- ¿Existirá una afectación en el sistema mecánico del vehículo?

### **1.5. Objetivos de la Investigación**

#### ***1.5.1. Objetivo General***

- Analizar el comportamiento del mecanismo de leva-seguidor del sistema de distribución de un Grand Vitara SZ 2.0 mediante simulación computarizada.

#### ***1.5.2. Objetivos Específicos***

- Investigar los parámetros técnicos del mecanismo de leva que utiliza el motor 2.0 del SZ.
- Modelar las levas que interviene en el sistema de distribución del motor del Suzuki Grand Vitara SZ 2.0 a través de Autodesk Inventor.
- Simular el comportamiento lineal de las levas de admisión y escape del motor del Suzuki Grand Vitara SZ 2.0.

### **1.6. Justificación e Importancia de la Investigación**

El presente trabajo investigativo se basa en las levas, las mismas que son utilizada desde la revolución industrial. (Serrano, 2010) establece “hoy en día utiliza mecanismos leva-seguidor son un elemento ampliamente utilizado en las maquinarias actual, para el cumplimiento de los objetivos

se utilizará los tipos de investigación bibliográfica, de campo, así como los métodos analítico, deductivo, inductivo y comparativo”.

### ***1.6.1. Justificación Teórica***

En la actualidad la tecnología automotriz permite el análisis de sistemas o componentes en un entorno completamente virtual, con lo cual el uso de herramientas de diseño asistido por computador CAD para el bosquejo y análisis de elementos en 2D o 3D, que en conjunto con la ingeniería asistida por computadora, permiten ver y parametrizar comportamientos de materiales, diseños y probarlos de manera segura y mucho más económica, con lo cual el análisis comparativo de un mecanismo leva seguidor (leva de escape) de un Suzuki Grand Vitara SZ, una en condiciones estándar y una segunda en condiciones de uso de más de 200000 km de recorrido en el motor, servirá para comparar las mediciones de las mismas en un entorno completamente simulado.

La finalidad de este trabajo es dejar simulado y graficado el comportamiento de del recorrido de la leva usada y nueva. El interés surgió de reflexionar respecto a estos temas que son interesante para un gran número de estudiantes, tienen necesidad de refuerzos en términos ligados a la mecánica automotriz, y es por ellos que se debe de trabajar para profundizar.

### ***1.6.2. Justificación Metodológica***

Se elabora esta investigación, para el desarrollo de información sobre herramientas de diseño y simulación asistida por computadora, adicional para generar información sobre los mecanismos de levas además de recopilar información de fuentes y trabajos similares, adicionando elementos propios para esta investigación.

Para lograr los objetivos del estudio, se ha realizado un proceso metodológico ordenado y sistematizado, se utilizaron técnicas de investigación cuantitativa orientado al comparar y analizar

en relación al uso la leva usada y nueva determinando en ambas variables los procedimientos necesarios para la simulación.

### ***1.6.3. Justificación Práctica***

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de adquirir conocimiento sobre sistemas de levas seguidores en conjunto con programas de diseño y simulación aplicados al entorno automotriz, por lo tanto, esta investigación queda para uso y beneficio de la sociedad en general, en especial para los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

El presente trabajo de investigación tiene como especial interés motivacional es realizar una simulación entre el sistema leva nuevo y otro usado y la razón que conlleva a realizar la presente investigación es conocer cuál de las 2 son más eficiente al momento del recorrido.

### ***1.6.4. Delimitación Temporal***

El trabajo se desarrollará en un lapso de 6 meses en pleno 2023, lapso que permitirá realizar la investigación, así como lograr los objetivos planteados, diseñar e implementar la propuesta entre los meses de noviembre de 2023 a abril 2024.

### ***1.6.5. Delimitación Geográfica***

El trabajo se desarrollará en la ciudad de Guayaquil, siendo este un lugar estratégico ya que se toma de referencia a los talleres y laboratorios de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil con su dirección en la avenida Raúl Gómez Lince y calle 15.

### ***1.6.6. Delimitación del Contenido***

La información detallada en el presente trabajo, está constituida en base y demás documentación, en donde se trate acerca de los sistemas de levas seguidor, software de diseño y simulación automotriz.

### **1.7. Alcance**

En el presente proyecto de investigación con el tema: Simulación Comparativa del Mecanismo de Leva Seguidor del Sistema de Distribución de un Suzuki Grand Vitara SZ 2.0, se busca simular el comportamiento del seguidor sobre el que la leva ejerce un movimiento rectilíneo.

Por tal motivo, el presente trabajo investigativo referente a la simulación de la transformación de movimiento rotacional de la leva y redireccionarlo a un movimiento lineal puede efectuarse mediante parámetros y procesos que buscan emular una aproximación a la realidad.

Se debe tener conceptos claros sobre lo que es o cómo trabaja un mecanismo leva seguidor, sus tipos, características técnicas y como efectúa esta transformación de movimiento rotacional en movimiento rectilíneo.

Este proyecto de investigación lo que busca es poder simular el proceso mediante ingeniería asistida por programa de ordenador con el respectivo boceto, dibujo y renderización que pueda ejemplificar el comportamiento mecánico de un mecanismo de leva seguidor, la variación de movimiento que el pasador experimenta respecto a su posición de descanso.

Algo muy importante para el desarrollo de este proyecto es poder conocer las características del sistema de distribución de un motor a combustión interna, como se comportan, los distintos tipos o variantes y sistemas adicionales que han estado aplicando con el tiempo e innovación con el pasar de los años que buscan mejorar su eficiencia.

Por tanto, el presente trabajo de investigación busca replicar el movimiento lineal que efectúa la válvula de un sistema de distribución de un motor de combustión interna accionado por una leva la cual por medio de un eje motriz recibe esfuerzos de torsión que generan el movimiento de rotación sobre su mismo eje que actúan sobre el seguidor.

## Capítulo II

### Marco de Referencia

(Rivas, 2019) indica que “En la actualidad el modelado y simulación es una solución muy versátil dentro de los campos de investigación y desarrollo automotriz, en gran medida a que permite realizar correcciones y mejoras e inclusive la viabilidad del sistema, en este caso la aplicación es para la comparación de funcionamiento de dos levas una con medidas completamente estándar y otra con medidas posteriores a un uso de un vehículo de más de 200000 km”.

#### 2.1. Sistema Leva Seguidor

(Parra, 2016) menciona que, “el sistema leva-palpador es un mecanismo, y como tal, su función es el de convertir los movimientos de, y las fuerzas sobre uno o diversos cuerpos en movimientos de, y fuerzas sobre otros cuerpos.

Una leva es un elemento mecánico que sirve para impulsar a otro, por contacto puntual o lineal, llamado palpador o seguidor, para que este desarrolle una ley de movimiento especificada”.

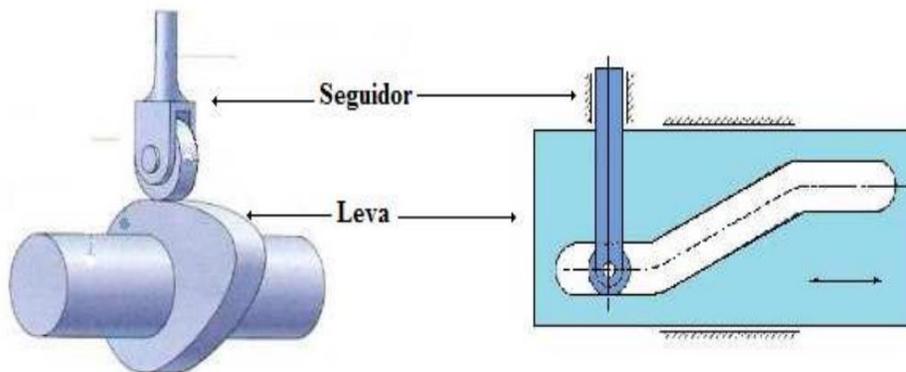
Un mecanismo leva-palpador consiste en dos miembros móviles, cada uno de ellos en principio con un grado de libertad y una coordenada generalizada independiente, que se ponen en contacto a través de pares inferiores (Figura 1). De esta manera se obtiene un mecanismo de un sólo grado de libertad que establece una ley de dependencia entre las coordenadas generalizadas que describen el movimiento de la leva y del palpador. Esta ley, se denomina usualmente ley de desplazamiento del palpador.

En la figura 1 a continuación se muestra un dibujo de un sistema de leva-seguidor, en este caso un mecanismo leva-seguidor de rodillo uno de los varios tipos de mecanismos de los cuales analizaremos más adelante en el presente trabajo de investigación. En la imagen a continuación

podemos ver la leva, el seguidor con su respectivo rodillo el cual en este caso es quién permite la transmisión de movimiento circular y transformarlo en lineal.

**Figura 1**

*Sistema Leva Seguidor*



Fuente: (Aquino, y otros, 2018)

(Serrano, 2010) expone que “El movimiento de la leva, usualmente de rotación, se transforma en movimiento de rotación o traslación del palpador. Los mecanismos de leva-palpador generalmente son utilizados como generadores de función. Estos mecanismos sencillos y poco costosos, tienen pocas piezas móviles y ocupan espacios muy reducidos. Además, no son difíciles de diseñar leyes de movimiento del palpador que tengan casi cualquier característica deseada y los perfiles de leva que proporcionan el movimiento al palpador según la ley requerida son mecanizados por máquinas de control numérico. Por estas razones los mecanismos de leva palpador se utilizan ampliamente en la maquinaria moderna”.

## **2.2. Perfiles de Leva**

En la ingeniería mecánica, los perfiles de leva son esenciales para la operación de los mecanismos leva-seguidor. Los perfiles de leva determinan la forma de la leva y, por lo tanto,

influyen en el movimiento del seguidor. A continuación, se describen algunos tipos comunes de perfiles de leva:

**Perfil de Leva Uniforme:** (Martinez, 2017) nos dice que la “leva tiene una forma constante, lo que resulta en un movimiento uniforme del seguidor. Esto es útil en aplicaciones donde se requiere un movimiento constante y predecible”.

**Perfil de Leva de Avance y Retroceso:** (González, 2018) dice que “estos perfiles de leva permiten que el seguidor se mueva hacia adelante y hacia atrás de manera alternativa, utilizan en aplicaciones donde se necesita un movimiento de vaivén, como las máquinas de coser”.

**Perfil de Leva de Perfil Variable:** (López, 2020) explica “la forma de la leva varía a lo largo de su longitud. Esto permite un control más preciso del movimiento del seguidor y se utiliza en aplicaciones que requieren movimientos complejos y no uniformes”.

Los diferentes tipos de perfiles de leva desempeñan un papel crucial en la ingeniería mecánica al permitir una variedad de movimientos en los mecanismos leva-seguidor. Estos perfiles no solo afectan la cinemática de los sistemas, sino que también influyen en su eficiencia y rendimiento.

### **2.3 Sistema de Distribución**

(Malo, 2014) nos decía que el sistema de distribución “controla la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape, permitiendo controlar los tiempos del motor como los sistemas de alimentación y escape, además de controlando la hermeticidad en el cilindro en el periodo de compresión y trabajo”.

(Rodríguez E. , 2017) afirma, "El sistema de distribución es el corazón del motor, ya que coordina la entrada de aire y combustible en el cilindro y la expulsión de los gases de escape. La

sincronización precisa de las válvulas es esencial para un rendimiento óptimo y una eficiencia de combustión adecuada en los motores de combustión interna".

(García V. , 2018) relata que “la distribución principalmente, se encarga de sincronizar el árbol o árboles de levas con el cigüeñal. El cigüeñal tiene que estar en sincronismo con el árbol o árboles de levas, ya que los pistones (que van unidos al cigüeñal), han de estar sincronizados con las válvulas (árbol de levas). Las válvulas son las encargadas de llenar o vaciar la cámara de combustión de los gases de admisión o escape.

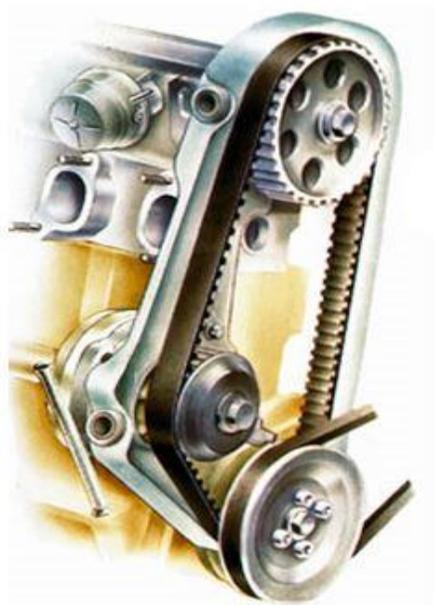
Las distribuciones pueden ser de diferentes tipos, pero todos tienen el mismo principio de funcionamiento. En el mercado encontramos tres tipos de distribuciones: correa, cadena y piñonearía”.

### **2.3.1. Tipos de Distribución**

Correa: (García V. , 2018) expone “Es la más utilizada en el mercado, la llevan todos los turismos. Es barata de fabricar, y es bastante silenciosa, pero su inconveniente es que tiene una vida útil limitada, aproximadamente entre 80000 y 120000 kilómetros. En la distribución encontramos los elementos comunes: polea dentada árbol de levas, bomba de agua y polea dentada de cigüeñal En la figura 2 se observa la ubicación y disposición de la correa de distribución”.

### **Figura 2**

*Sistemas de distribución por correa*

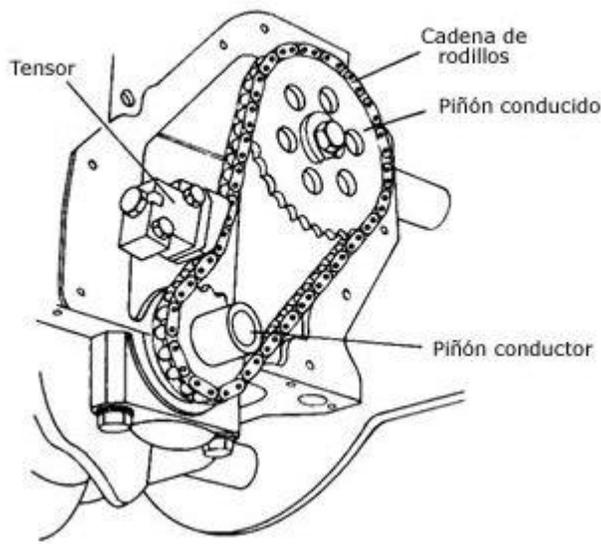


Fuente: (García V. , 2018)

Cadena: (García V. , 2018) comenta “El concepto de la distribución es el mismo. Tenemos unos elementos que van unidos entre sí, pero en este caso van unidos por una cadena de rodillos. Esta cadena sería del estilo que podemos encontrar en nuestra bicicleta, pero en este caso sería mucho más robusta, ya que el par que transmitirá será exponencialmente mayor. La vida útil de la cadena es muy amplia, y su mantenimiento en comparación a la correa es menor. Los ruidos son mayores ya que con el tiempo la cadena se estira y encontramos más holguras. En esta distribución encontraremos un tensor hidráulico normalmente, que mantendrá la cadena tensa para que su funcionamiento sea correcto. Esta distribución va bañada en aceite ya que necesita una alta lubricación. La podemos encontrar en turismos y en coches de alto rendimiento”. En la figura 3 se puede ver una distribución que se transmite por cadena.

### **Figura 3**

*Distribución por cadena*

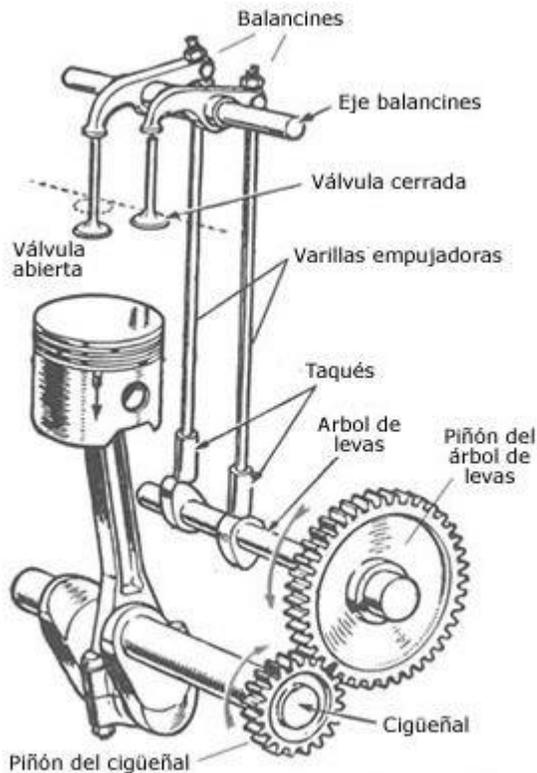


Fuente: (García V. , 2018)

Transmisión por ruedas dentadas/piñones: En los motores que el árbol de levas es accionado por balancines por medio de varillas, o simplemente el piñón de levas con la del cigüeñal están muy juntos, se puede transmitir el par directamente por engranaje de piñones. (García V. , 2018) en su investigación indica que “los piñones empelados son helicoidales, que son más silencioso al tener mayor superficie de contacto entre ellos. Es la distribución más silenciosa de todas y está bañada en aceite completamente. Su vida útil debería ser muy larga a no ser que surjan anomalías. Normalmente lo encontramos en cambiones o maquinaria pesada”. La figura 4 se muestra cómo se dispone de un sistema de distribución accionado por ruedas dentadas o piñones.

#### **Figura 4**

*Sistema de distribución por piñones o ruedas delanteras*



Fuente: (García V. , 2018)

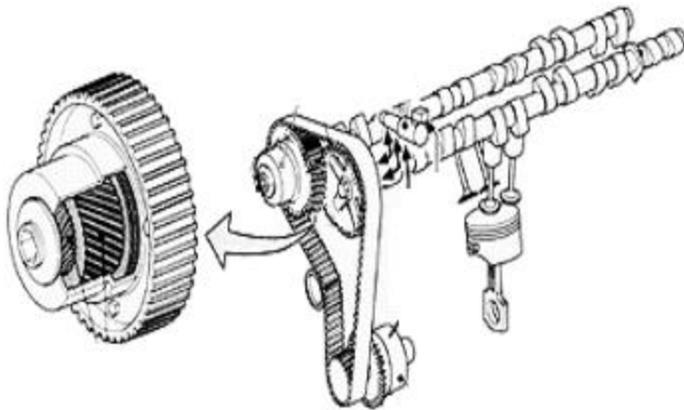
Una vez visto todos los tipos de distribuciones que hay en el mercado, vamos a ver los principales tipos de sistemas que existen en el mercado que son capaces de variar la apertura de la válvula para así mejorar el llenado de la cámara de combustión. El principio de funcionamiento de todos los sistemas es el mismo, dependiendo de las vueltas de giro del motor, se varia la carrera de la válvula de admisión consiguiendo más o menos tiempo de apertura en función de lo necesario. (García V. , 2018) establece que “En algunos tipos de distribuciones variables, se puede variar únicamente la válvula de admisión, o variar ambas (admisión y escape).

Sistema VVT-i: (VVT-i: Tiempo variable de válvulas inteligente) Consiste en introducir un piñón dentado dentro del árbol de levas. Cuando este piñón interno recibe presión hidráulica por orden de la unidad de control las levas se desfasan de la posición normal de trabajo, variando el diagrama de distribución. Este sistema es de origen japonés, más concretamente de la marca

Toyota”. En la figura 5 se puede ver como el piñón interno se encuentra ubicado en la posición de trabajo para variar el tiempo de accionamiento de apertura y cierre de las válvulas.

### Figura 5

*Sistema de Distribución Variable VVT-I*



Fuente: (García V. , 2018)

Sistema Valvelift: Original de Audi, consiste en variar la posición axial de las levas, mediante unos actuadores y unas guías mecanizadas en la propia leva. (García V. , 2018) expone que “Cuando la centralita cree oportuno cambiar la posición de las levas, un actuador desplaza un esparrago dentro de la guía de la leva. Esta guía tiene un recorrido curvo lo que hace que la leva se mueva hacia los lados. Cuando la leva se mueve hacia izquierda o derecha, se coloca en la válvula una leva diferente a la anterior, es decir, hay dos levas distintas para cada válvula, una de un recorrido más largo y otra para uno más corto”. En la figura 6 se aprecia lo que es el mecanismo de distribución variable Valvelift implementado por Audi.

### Figura 6

*Sistema de Distribución Variable Valvelift*



Fuente: (García V. , 2018)

Sistema Valvetronic: Este sistema es apto únicamente para motores que utilizan balancines para empujar las válvulas. (García V. , 2018) dice que “Consigue modificar la carrera de las válvulas de admisión a través de la modificación del árbol de balancines mediante el empleo de un motor eléctrico controlado por la unidad de control de motor. Este motor tiene un tornillo sin fin que engrana con un piñón que hace subir o bajar el balancín, variando así su posición unos grados. Lo utiliza normalmente BMW”. En la figura 7 se muestra la disposición de este sistema de distribución variable, con este sistema la marca alemana de automóviles lo que busca es mejorar significativamente el dinamismo, funcionamiento y la economía de sus motores.

La regulación que ejerce el sistema Valvetronic se realiza con la finalidad de eficiente e inmediata gracias a la eliminación de pérdidas por bombeo o las perturbaciones de flujo de aire que puede presentarse en un sistema convencional, según la misma marca, este sistema implementado por ellos brinda un ahorro de combustible de hasta un 10%.

**Figura 7**

*Sistema de Distribución Variable Valvetronic.*



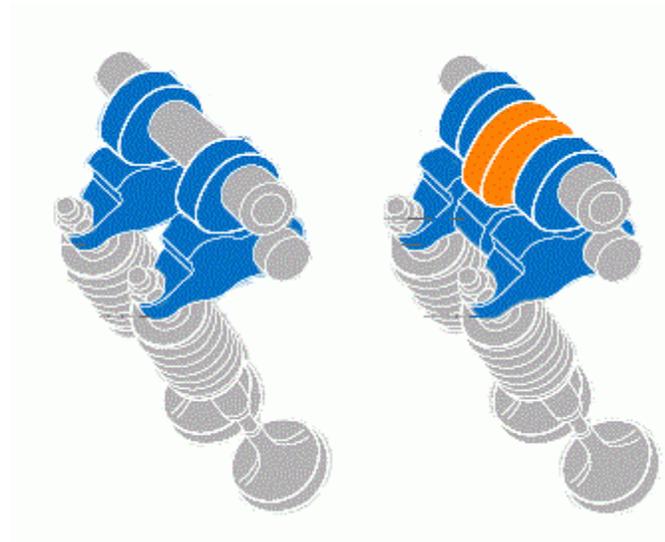
Fuente: (García V. , 2018)

VTEC: Uno de los sistemas más famosos del mercado y uno de los más bueno y fiables. (García V. , 2018) llega a la conclusión que “De origen japonés, de la marca Honda, consiste en un conjunto de tres válvulas. Dos de ellas son los estándares, las que se usan normalmente en motores de 4 válvulas por cilindro (2 de admisión y dos de escape). En medio de estas válvulas hay una tercera válvula, que es la encargada de empujar ambos balancines a la vez cuando la unidad de control lo ve oportuno. La tercera válvula entra en funcionamiento cuando un pasador une las tres válvulas por un agujero pasante. Esta tercera válvula tiene un recorrido más grande, por lo que el tiempo de apertura será mayor”. A continuación, en la figura 8 se puede ver uno de los sistemas más famosos y fiables de distribución variable el conocido VTEC implementado por el fabricante japonés Honda, tecnología que fue un antes y un después en la tecnología automotriz dado a que

con este avance se logró por primera vez la entrega de una potencia correspondiente al cilindraje de diseño de un motor, esto en 1989 con el Honda Integra con DOCH y su sistema de distribución VTEC alcanzaba los 160CV con sus 1600 cc, un hito para la época.

### Figura 8

*Sistema de Distribución Variable VTEC*



Fuente: (García V. , 2018)

Multi-Air: Diseño de Fiat como el Common Rail: Se trata de un sistema de distribución en el que la leva comprime aceite como si fuese un cilindro maestro de frenos y lo envía a la cabeza de la válvula donde se ha colocado un cilindro receptor, como elemento fundamental del sistema.

(García V. , 2018) nos indica que “En medio de este circuito hidráulico se ha colocado una electroválvula que es controlada por la Unidad de Control Motor de forma que puede variar tanto el recorrido de apertura de la válvula como el hecho de poder abrir las válvulas, aunque la leva no esté generando presión, pues puede utilizar la presión acumulada del ciclo anterior.

De esta manera, se eliminan elementos mecánicos, lo que se traduce en menos costes. Gracias a este sistema, podemos tener tantos diagramas de distribución como queramos, ya que es

la Unidad de Control Motor quien gestiona mediante software la apertura y cierre de las válvulas”.

La figura 9 es una representación gráfica de la disposición de este sistema de distribución variable, misma que según el fabricante genera de 10% a 25% menos emisiones, aumenta la potencia un 10% y el torque un 15%, generando ahorro de combustible de 10%.

### **Figura 9**

*Sistema de Distribución Variable Multi-Air*



Fuente: (García V. , 2018)

### **2.3.2. Sistema de Distribución de un Motor y el Montaje de Árboles de Leva**

(Saralegui, Pary, & Marconi, 2019) mencionan que, “los sistemas de distribución se pueden clasificar dependiendo de la localización del árbol de levas. Actualmente todos los motores tienen el árbol de levas montado en la culata (tapa de cilindro)”.

(Pérez L. , 2015) destaca que "El control preciso del sistema de distribución también influye en aspectos como la reducción de emisiones y el ahorro de combustible en los motores modernos.

La tecnología avanzada en este sistema ha llevado a mejoras significativas en la eficiencia y el rendimiento de los motores".

### ***2.3.3. Sistema Leva Seguidor y el Recorrido Lineal que Produce Sobre la Válvula***

(Saralegui, Pary, & Marconi, 2019) relatan que “el movimiento alternativo de apertura y cierre de las válvulas se realiza por medio de un mecanismo empujador que actúa sobre las válvulas y que se denomina sistema de levas, y tiene que estar sincronizado con la velocidad del régimen del motor”.

(López A. , 2018), "El sistema de leva-seguidor desencadena un recorrido lineal preciso en la apertura y cierre de las válvulas del motor. Este movimiento es esencial para garantizar la sincronización adecuada entre el flujo de aire y combustible y la posición del pistón, lo que afecta directamente la eficiencia y el rendimiento del motor".

(Martínez, 2020) resalta que "La geometría y el perfil de las levas son aspectos cruciales en la determinación del recorrido lineal de las válvulas. La optimización de estas levas es una práctica común en la ingeniería de motores para lograr un mejor control del flujo de gases y mejorar la eficiencia de combustión".

## **2.4. Funcionamiento del Mecanismo Leva Seguidor**

(Academia Balderix, 2023) nos dice que “El funcionamiento del mecanismo leva-seguidor consiste en transformar el movimiento giratorio de la leva en el movimiento rectilíneo del seguidor. Para ello, se fija el seguidor para que solo pueda desplazarse en una dirección.

De este modo, como la leva está en contacto con el seguidor, cuando la leva gira el seguidor va hacia arriba o hacia abajo siguiendo el perfil de la leva. Así se consigue convertir el movimiento circular de la leva en un movimiento lineal oscilatorio realizado por el seguidor.

Así pues, en el mecanismo leva-seguidor se pueden distinguir tres fases:

- Subida: durante esta fase el seguidor asciende.
- Bajada: durante esta fase el seguidor desciende.
- Reposo: durante esta fase el seguidor se mantiene a la misma altura, por lo tanto, está en contacto con la parte redonda de la leva”.

(Smith, 2017) expone que "El mecanismo leva-seguidor es esencial en la ingeniería mecánica para convertir el movimiento circular en movimiento lineal. La leva, al estar en contacto con el seguidor, guía su movimiento de arriba abajo o viceversa, siguiendo el perfil de la leva".

(Johnson, 2019) comenta que "El mecanismo leva-seguidor se caracteriza por tres fases claramente definidas: subida, bajada y reposo. En la fase de subida, el seguidor asciende siguiendo el perfil de la leva. En la fase de bajada, el seguidor desciende de manera correspondiente. Finalmente, en la fase de reposo, el seguidor se mantiene a la misma altura, en contacto con la parte redonda de la leva".

(Martínez, 2021) también destaca que "La capacidad de convertir el movimiento circular en movimiento lineal de manera precisa hace que el mecanismo leva-seguidor sea ampliamente utilizado en diversas aplicaciones, desde motores de combustión interna hasta maquinaria industrial y sistemas de automatización".

#### ***2.4.1. Tipos de Mecanismo Leva Seguidor***

(Academia Balderix, 2023) establece que “Según el contacto entre la leva y el seguidor, se pueden distinguir cuatro tipos de mecanismos leva-seguidor:”.

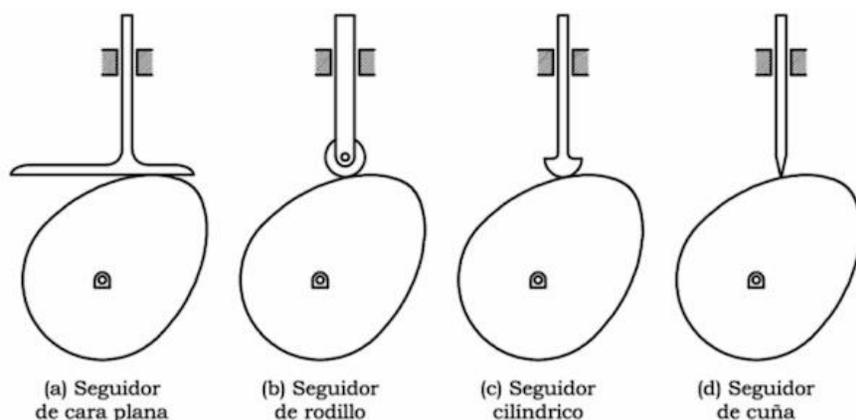
- Leva-seguidor con contacto plano: En este tipo de mecanismo, (García A. , 2020) comenta “el seguidor tiene una superficie plana en contacto con la leva. Esta configuración es común en aplicaciones donde se busca una distribución uniforme de la carga y una mayor superficie de contacto”.

- Leva-seguidor con contacto de rodillo: (Martínez, 2018) nos explica “el seguidor está formado por un rodillo que establece el contacto con la leva. Este diseño minimiza la fricción y permite un movimiento suave y de baja resistencia”.
- Leva-seguidor con contacto cilíndrico: (López E. , 2019) indica que “la parte del seguidor que está en contacto con la leva tiene una superficie redonda. Este diseño puede ser beneficioso en aplicaciones donde se requiere un movimiento lineal preciso”.
- Leva-seguidor con contacto de cuña: (Rodríguez R. , 2021) nos dice que “el contacto entre el seguidor y la leva se hace mediante la punta del seguidor solamente. Este diseño es útil cuando se busca una distribución específica de carga y se requiere una respuesta rápida”.

A continuación, en la figura 10 se puede observar una ilustración de los distintos perfiles de levas:

**Figura 10**

*Tipos de Mecanismos Leva Seguidor*



Fuente: (Pérez A. , 2008)

## 2.5. Ventajas y Desventajas del Mecanismo Leva Seguidor

(Academia Balderix, 2023) “Ventajas del Mecanismo Leva Seguidor:

- El mecanismo leva-seguidor permite transformar un movimiento de giro en un movimiento lineal alternativo.
- El mecanismo leva-seguidor es preciso.
- Es un mecanismo muy simple ya que está formado por pocos componentes, tan solo la leva y el seguidor.

#### Desventajas del Mecanismo Leva Seguidor

- El mecanismo leva-seguidor requiere una fabricación muy precisa, pues para obtener el movimiento del seguidor deseado se debe fabricar una leva con el perfil adecuado.
- El coste de fabricación del mecanismo leva-seguidor es alto.
- Como es un mecanismo que transmite el movimiento por contacto, sufre mucho desgaste.
- El tamaño del mecanismo leva-seguidor está limitado, ya que resulta complicado que opere con tamaños grandes.
- El mecanismo leva-seguidor es irreversible, es decir, permite pasar de un movimiento circular a un movimiento lineal pero no al revés”.

El mecanismo leva-seguidor es esencial en la ingeniería mecánica, ya que permite transformar un movimiento de giro en un movimiento lineal alternativo. (González, 2017) nos dice que “es conocido por su precisión en la conversión del movimiento, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren control de movimiento exacto”. (Martínez, 2018) dice que “es un mecanismo simple compuesto solo por la leva y el seguidor, lo que facilita su diseño y mantenimiento”.

(Johnson, 2019) sin embargo, advierte que “presenta desafíos importantes. Requiere una fabricación precisa, ya que la leva debe tener el perfil adecuado para obtener el movimiento

deseado”. (López E. , 2019) por lo tanto, indica que “esto resulta en un costo de fabricación elevado debido a los requisitos de precisión”. (Rodríguez R. , 2021) aporta que “el mecanismo leva-seguidor sufre desgaste con el tiempo debido al contacto constante, lo que puede afectar su vida útil”.

### **2.5.1 Aplicaciones del Mecanismo Leva Seguidor**

(Academia Balderix, 2023) indica varios ejemplos de las aplicaciones del mecanismo leva-seguidor.

“El mecanismo leva-seguidor tiene aplicaciones industriales muy variadas. Por ejemplo, el mecanismo leva-seguidor se usa en los motores de combustión interna, concretamente, se utiliza para abrir y cerrar las válvulas de admisión y de escape del motor.

Asimismo, el mecanismo leva-seguidor también se emplea en algunos juguetes para que puedan hacer movimientos sencillos. Como es un mecanismo muy simple, resulta fácil incorporarlos en los juguetes y así estos pueden hacer más movimientos”.

El mecanismo leva-seguidor tiene aplicaciones industriales muy variadas. (González, 2017) por ejemplo, comenta que “se utiliza en los motores de combustión interna para abrir y cerrar las válvulas de admisión y de escape, lo que regula el flujo de aire y combustible en el motor”.

(Smith, 2020) explica que “este mecanismo se emplea en algunos juguetes para permitir movimientos sencillos. Dado que es un mecanismo simple, resulta fácil incorporarlo en los juguetes, lo que les permite realizar una mayor variedad de movimientos y acciones”.

(Martínez, 2018) nos dice que “el mecanismo leva-seguidor desempeña un papel crucial en la sincronización precisa de las válvulas en los motores de combustión interna, lo que afecta directamente al rendimiento y la eficiencia del vehículo”.

(García D. , 2022) relata “el sistema DOHC fue originado en los años 1920, aunque fue permitido su uso a partir a del año 1980. En un primer momento, estos motores solo fueron montados para grandes marcas como Ferrari, Jaguar, etc., aunque poco a poco se fue extendiendo a otras firmas”.

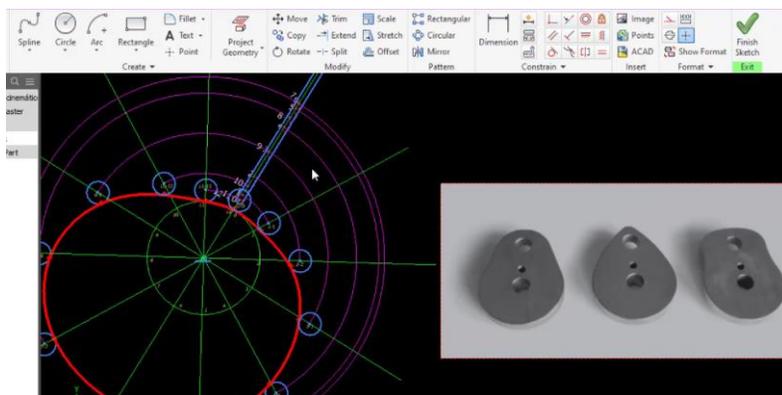
## 2.6 Diseño en CAD (Diseño Asistido por Ordenador)

(Sousa, 2018) explica que “esto es un programa desarrollado y comercializado por Autodesk, y ha sido utilizado por los profesionales para crear y manipular proyectos y diseños arquitectónicos de forma práctica y eficiente, optimizando el aumento de productividad y reduciendo drásticamente las posibilidades de errores”.

(Díaz, 2018) nos dice que “desempeña un papel fundamental en la ingeniería mecánica moderna, permitiendo a los ingenieros comprender y predecir el comportamiento de estos mecanismos antes de la fabricación física”. Una de las herramientas más utilizadas para esta tarea es el análisis de elementos finitos (FEA), que emplea técnicas numéricas para resolver ecuaciones que modelan el comportamiento de estructuras mecánicas bajo diferentes condiciones de carga y movimiento, como se puede observar en la figura 11 un ejemplo de diseño de leva en un programa de ordenador CAD.

### Figura 11

#### *Diseño de una Leva en AutoCAD*



Fuente: (EstalinJRM, 2020)

## **2.7 Simulación de un Sistema Leva Seguidor**

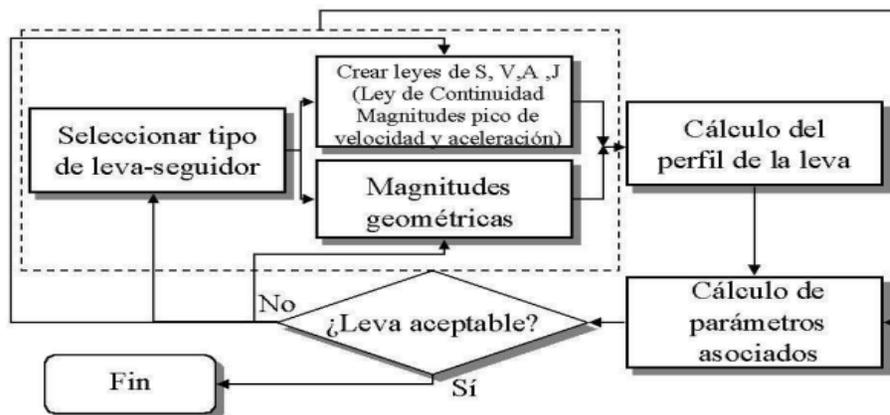
(López E. , 2020) nos cuenta que la importancia de la simulación en Solidworks y herramientas similares radica en su capacidad para evaluar el rendimiento de un sistema leva-seguidor en diferentes condiciones de funcionamiento y carga. Esto permite a los ingenieros identificar y solucionar problemas potenciales antes de que se conviertan en costosos errores de diseño en la fase de producción. Además, la simulación en Solidworks puede ayudar a optimizar los diseños de sistemas leva-seguidor, mejorando su eficiencia, reduciendo el desgaste y prolongando su vida útil.

(Pérez L. , 2021) comenta que “la simulación de sistemas leva-seguidor a través de herramientas como SolidWorks es esencial en la ingeniería mecánica moderna. No solo facilita la comprensión y predicción del comportamiento de estos mecanismos, sino que también contribuye significativamente a la mejora del diseño y la eficiencia en una variedad de aplicaciones industriales y de ingeniería”.

A continuación, en la figura 12 es posible ver un ejemplo de cuadro conceptual que simula y contempla los parámetros necesarios para determinar si una leva es aceptable.

### **Figura 12**

*Simulación Matemática*



Fuente: (García, Flórez, & Higuera, 2007)

(Olmedo, Vasconez, Culqui, & Piovan, 2019) comunican respecto a las levas “La teoría matemática de las levas ha evolucionado de la mano de los procesos de manufactura pudiéndose encontrar en la literatura especializada un sinnúmero de leyes de desplazamiento, las cuales son estructuradas a tramos para generar el perfil de la leva, lo que implicará que alguna de las derivadas del desplazamiento sea discontinuas.

## 2.8 Motor J20A

(Wers, 2018) En su investigación relata que “El Suzuki J20A es un motor de gasolina de aspiración natural de 4 tiempos, cuatro cilindros en línea y 2,0 L (1995 cc) de la familia Suzuki J. El motor J20 fue fabricado por Suzuki Motor Corporation.

El motor J20A cuenta con un bloque de cilindros de aluminio y una culata de aluminio con dos árboles de levas en cabeza (DOHC) y cuatro válvulas por cilindro (16 en total). Tiene un diámetro de cilindro de 84.0 mm (3.31 pulgadas) y una carrera de pistón de 90.0 mm (3.54 pulgadas). La relación de compresión es de 9.7:1.

El motor Suzuki J20 está equipado con inyección multipunto de combustible (MPFI), sistema VVT (Tiempo Variable de Válvulas) en el lado de admisión, ETCS (Sistema de Control Electrónico de Mariposa) y sistema de encendido electrónico con bobina de encendido individual

para cada bujía. En la tabla 1 se muestran algunos de los parámetros generales más importantes del motor J20A”.

El desglose del código del motor es el siguiente:

J – Familia de motores

20 – 2,0 litros de cilindrada

**Tabla 1.**

*Propiedades del Motor J20A de Suzuki*

<b>Propiedades del Motor J20A</b>	
Código de Motor	J20
Disposición	4 tiempos, 4 cilindros en línea
Tipo de Combustible	Gasolina
Producción	1998 – 2015
Desplazamiento	1995 cc
Sistema de Combustible	Inyección Multipunto de Combustible MPFI
Sumador de Potencia	Ninguno
Salida de Potencia	127 HP a 6.000 rpm
Salida de Torque	182 N.m a 3.000 rpm
Orden de Encendido	1-3-4-2

(Wers, 2018) dice que el Suzuki J20 “tiene un bloque de cilindros de aluminio con un sistema de soporte de cinco cojinetes. Tiene un diámetro de cilindro de 84.0 mm (3.31 pulgadas) y una carrera de pistón de 90.0 mm (3.54 pulgadas). El motor tiene dos anillos de compresión y un solo anillo de control de aceite. La relación de compresión es de 9.7:1.

La culata está hecha de aleación de aluminio, lo que le confiere una buena eficiencia de refrigeración. El motor tiene un diseño de doble árbol de levas en cabeza con cuatro válvulas por cilindro. El doble árbol de levas en cabeza está montado sobre la culata; se impulsa desde el cigüeñal a través de cadenas de distribución y no se proporcionan varillas de empuje en el sistema del tren de válvulas. El motor J20 utilizaba un sistema de sincronización variable de válvulas (VVT) en el árbol de levas de admisión. Las válvulas de admisión tienen 330 mm (1.2992 pulgadas) de diámetro y las válvulas de escape tienen 28,0 mm (1,1024 pulgadas). Este motor no tenía elevadores hidráulicos, por lo que se utilizan cuñas de válvula especiales para ajustar la holgura de las válvulas”.

### **2.8.1 Desventajas del Motor J20A de Suzuki**

- Muy a menudo, en foros especializados, los propietarios de dichos motores se quejan del quemador de aceite. La razón suele estar en los sellos endurecidos del vástago de la válvula, pero si reemplazarlos no ayuda, entonces significa que es hora de revisar el motor con el orificio de los manguitos al tamaño de reparación.
- Este motor es bastante exigente con la calidad del aceite y especialmente con el procedimiento de sustitución, y los propietarios de coches más antiguos suelen ahorrar en combustible y lubricantes, lo que a menudo provoca que las camisas del cigüeñal giren y luego la cuña de su unidad.
- En este motor, la transmisión de distribución consta de tres cadenas delgadas con pocos recursos, a veces se estiran y requieren reemplazo incluso después de 100 a 120 mil kilómetros. Sin embargo, debido al ahorro de aceite, los tensores de cadena hidráulicos pueden fallar antes.

- Como cualquier motor de aluminio, tiene mucho miedo de sobrecalentarse, lo que a menudo conduce a la culata. Además, el colector de admisión se obstruye rápidamente y los retenes de aceite del cigüeñal fluyen constantemente. Y no olvides comprobar el estado de las bujías y el juego de válvulas cada 30.000 km.

El motor J20A se caracteriza por su confiabilidad, durabilidad y evolución a lo largo de los años, presentando mejoras como el sistema VVT (sistema de distribución variable) introducido en el 2005 frente a las versiones anteriores que carecían de este sistema de mejora de potencia, eficiencia y llenado de aire en los cilindros.

A continuación, en la tabla 2 se muestran algunas de las más importantes características y especificaciones del bloque de cilindros del motor del J20A del fabricante japonés Suzuki.

**Tabla 2.**

*Bloque de Cilindros (especificaciones Suzuki Grand Vitara SZ)*

<b>Bloque de Cilindros (J20A)</b>	
Aleación Bloque de Cilindros	Aluminio
Relación de Compresión	9.7:1
Diámetro Interior Cilindro	84.0 mm (3.31 in)
Carrera de Pistón	90 mm (3.54 in)
Anillos de Pistón (compresión/aceite)	2/1
Número de Cojinetes Principales	5
Diámetro Interno de Cilindro (Standard)	84.000-84.010 mm (3.3071-3.3075 in)

Diámetro de Falda de Pistón (Standard)	83.970-83.980 mm (3.3059-3.3063 in)
Diámetro Exterior del Pasador de Pistón	20.997-21.000 mm (0.8267-0.8268 in)
Holgura Lateral del Segmento de Pistón	1ero 0.030-0.070 mm (0.0012-0.0028 in) 2do 0.020-0.060 mm (0.0008-0.0024 in) 3ero 0.060-0.150 mm (0.0024-0.0059 in)
Separación del Extremo del Segmento del Pistón	1ero 0.200-0.330 mm (0.0079-0.0013 in) 2do 0.330-0.480 mm (0.013-0.0189 in) 3ero 0.200-0.500 mm (0.0079-0.0197 in)
Diámetro del Muñón de Cigüeñal	58.000 mm (2.2835 in)
Diámetro de la Muñequilla	52.000 mm (2.0472 in)

---

### 2.8.2 *Cabezote de Motor J20A*

(Wers, 2018) relata que “La culata está hecha de aleación de aluminio, lo que le confiere una buena eficiencia de refrigeración. El motor tiene un diseño de doble árbol de levas en cabeza con cuatro válvulas por cilindro. El doble árbol de levas en cabeza está montado sobre la culata; se impulsa desde el cigüeñal a través de cadenas de distribución y no se proporcionan varillas de empuje en el sistema del tren de válvulas. El motor J20 utilizaba un sistema de sincronización variable de válvulas (VVT) en el árbol de levas de admisión. Las válvulas de admisión tienen 33.0 mm (1.2992 pulgadas) de diámetro y las válvulas de escape tienen 28.0 mm (1.1024 pulgadas). Este motor no tenía elevadores hidráulicos, por lo que se utilizan cuñas de válvula especiales para ajustar la holgura de las válvulas. La tabla 3 se evidencian algunas de las más importantes características del cabezote o culata del motor J20A”.

#### **Tabla 3.**

*Características del Cabezote del Motor J20A*

---

#### **Propiedades del Cabezote del Motor J20A**

---

Disposición de Válvulas	DOHC, Transmisión por Cadena
Válvulas	16 válvulas
Diámetro de la Cabeza de Válvulas	Admisión: 33 mm (1.2992 in) Escape: 28 mm (1.1024 in)
Longitud de Válvulas	Admisión: 86.20 mm (3.3937 in) Escape: 86.00 mm (3.3858 in)
Diámetro del Vástago de la Válvula	Admisión: 5.965-5.980 mm (0.2348-0.2354 in) Escape: 5.940-5.955 mm (0.2339-0.2344 in)
Longitud Libre del Resorte de Válvula	51.13 mm (2.013 in)
Altura de la Leva del Árbol de Levas	Admisión: 45.669-45.829 mm (1.798-1.8043 in) Escape: 45.550-45.710 mm (1.7933-1.7996 in)
Diámetro del Muñón del Árbol de Levas	29.959-25.980 mm (1.022-1.0228 in)

---

### Capítulo III

#### Método de Modelado

### 3.1. Método

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad el poder dibujar, modelar y simular el movimiento de la leva sobre la que se realizará el estudio y generar un gráfico respecto al movimiento lineal que esta ejerce sobre la válvula o vástago de admisión o escape.

El motor y sus componentes sobre el que se basaría dicho modelado corresponde al motor J20A del fabricante japonés Suzuki que inició su producción en 1998 aproximadamente, tiempo durante el cual pasó por varias mejoras entre las más importantes el aditamento de un sistema VVT sobre el sistema de admisión de levas en el año 2005 aproximadamente.

### 3.2. Toma de Medidas de la Leva

(Chele & Vera, 2018) Explican “con el respectivo equipo de medición se procede a tomar las medidas que se necesitan para el presente proyecto de tesis. En esta fase de la investigación se aplicó un estudio de campo, es decir con los componentes de análisis, las levas de admisión y escape para toma de medidas de forma física y con herramienta de medición correspondiente”.

Para el presente caso la herramienta a utilizar será el calibrador de pie de rey, pues con este se procede a tomar las medidas más importantes que fueron pilares fundamentales del objeto de estudio del presente trabajo de investigación, adicional a este equipo que muestra medidas en unidades milimétricas y en pulgadas de forma digital se reforzó la medición con una herramienta de diagnóstico similar pero totalmente mecánica, esto con el fin de asegurar la mejor precisión posible y acortar los márgenes de error durante el proceso de medición.

En la siguiente figura 13 es posible acatar los códigos de partes de las levas correspondientes en esta ocasión de la marca de repuestos VISTANA, donde la leva de escape corresponde al código: 12711-65-J00 y la de admisión al código: 12710-65-J00.

#### Figura 13

*Código de Partes Árbol de Levas Admisión y Escape de Motor J20A*



En la figura 14 se puede distinguir un árbol de levas de admisión junto a un árbol de levas de escape, verificando se trata de repuestos que no han sido manipulados.

#### Figura 14

*Árbol de Leva Admisión y Escape Motor J20A*



En la figura 15 se ve cómo se retiró el sellado del plástico y encontramos la pieza humedecida en aceite lo confirmando así se trataba de un repuesto o refacción nuevo, el aceite en

repuestos nuevos que es usado como un mecanismo de protección a las refacciones del parque automotor contra, el óxido, ambiente y demás deterioro.

**Figura 15**

*Des Emplastado del Árbol de Leva de su Envoltura Original*



En la figura 16 se visualiza la toma de medición del diámetro menor de la leva de admisión que presenta en su diseño, con una herramienta de medición digital la misma que nos indicaba una medida de 36.9 mm.

**Figura 16**

*Medición del Diámetro Menor de la Leva con Equipo Digital*



En la figura 17 se puede ver la confirmación de medición con el calibrador pie de rey normal, para constatar y confirmar medida inicial que nos brindaba el equipo de medición digital y así asegurarnos de tomar la medida más acertada posible.

**Figura 17**

*Medición de Diámetro Interno con Calibrador Normal*



En la figura 18 es posible ver cómo se prosigue a la medición del diámetro mayor de la leva de admisión con una herramienta de medición digital, la misma que nos indicaba que este era de 45.7 mm.

**Figura 18**

*Medición Diámetro Mayor de Leva con Herramienta Digital*



En la figura 19 se efectúa la medición del diámetro mayor de la leva con herramienta de medición convencional para constatar sea correcta la medida inicial indicada por el equipo de medición digital.

**Figura 19**

*Medición de Diámetro Mayor de la Leva con equipo Normal*



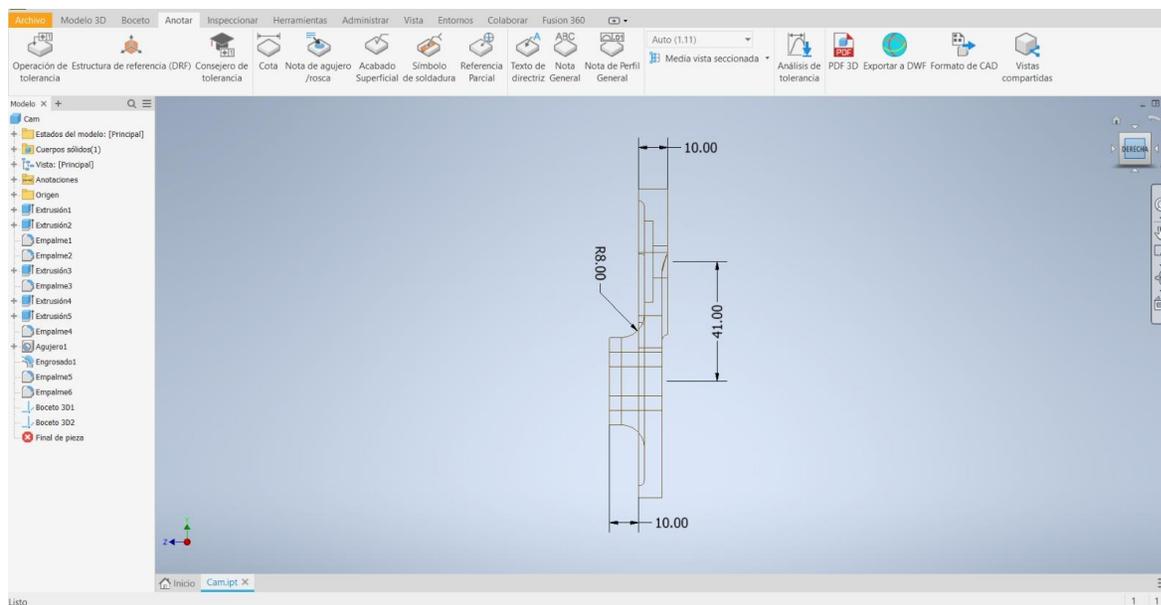
### 3.3. Boceto en CAD

Para iniciar el proceso de dibujo se procede a tomar las medidas originales de la leva en cuestión con un equipo de diagnóstico, en cuestión para el presente caso se prosigue a utilizar un calibrador pie de rey. Una vez tomadas las medidas se procede a empezar a ingresar las mismas en el programa sobre el cual se efectuará la simulación, en el caso del presente proyecto se efectuó en el programa Autodesk Inventor, sin embargo, para los bocetos y dibujados se empleó el programa AutoCAD y luego se pasó los dibujos al programa elegido Autodesk Inventor. Generando así un trabajo en conjunto de las herramientas de simulación por ordenador disponibles para esta clase de proyectos.

En la figura 20 a continuación se puede ver cómo inicia el proyecto de simulación con el boceto inicial de piezas, donde empezamos por las primeras cotas de la leva como su grosor, establecer su diámetro mayor y trazar las primeras líneas de dibujo, y demás procesos que conlleva el dibujo de estas piezas.

#### **Figura 20**

*Boceto Inicial de la Leva*



En esta parte empezamos con el ingreso de medidas para creación de cuerpos sólidos en el programa de ordenador, mismo donde se ingresa cómo diámetro mayor de la leva de admisión del motor J20A la medida de 45.67 mm correspondientes a los 45.7 mm que nos mostraba el equipo de medición digital durante el proceso de recolección de información y que por motivos de facilitar la labor de simulación será el valor correspondiente o un aproximado a este a usar para el dibujado de la leva y su posterior renderización.

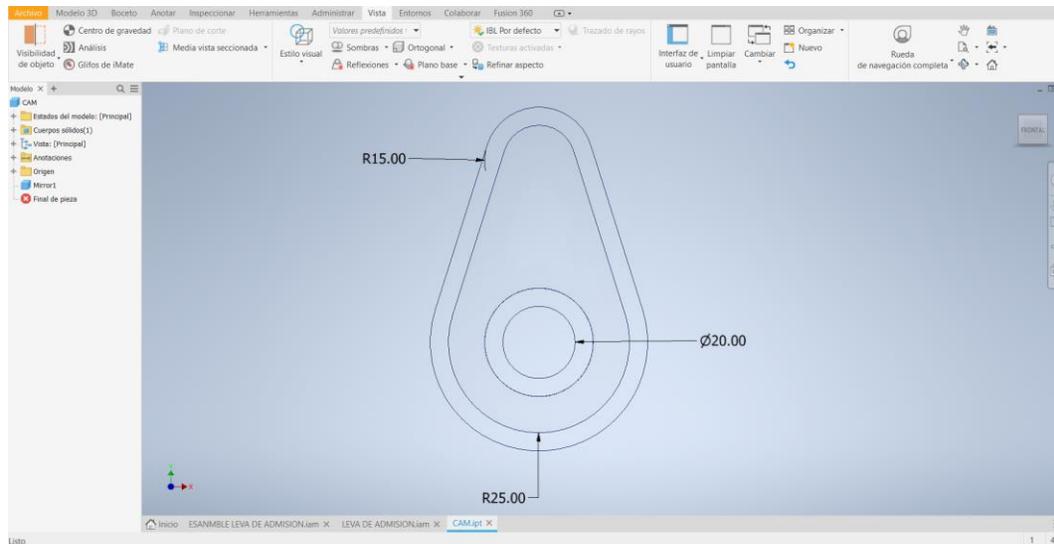
Como grosor de la leva se tomará el valor de 4.2 mm, que correspondería al área que tendrá contacto al elemento seguidor en el mecanismo a simular en Autodesk Inventor.

En la figura 21 se reanuda a observar las cotas del proceso de dibujo que tuvo la leva al momento de ingresar los valores de medición en el sistema, mismos donde veremos algunas medidas importantes del proceso como diámetros, radios de los componentes inmiscuidos en el proceso de simulación del proyecto investigativo.

Por tal motivo se tomó la decisión que parte de estos valores fueron redondeados para facilitar el aprendizaje didáctico de este proyecto de investigación y nos permita entender de manera sencilla las gráficas a obtener.

## Figura 21

### *Cotas de Medidas de Leva en Autodesk Inventor.*



En la siguiente figura 22 se observa un ejemplo de un conjunto de piezas que serían parte de un sistema leva seguidor ideal, los mismos que son:

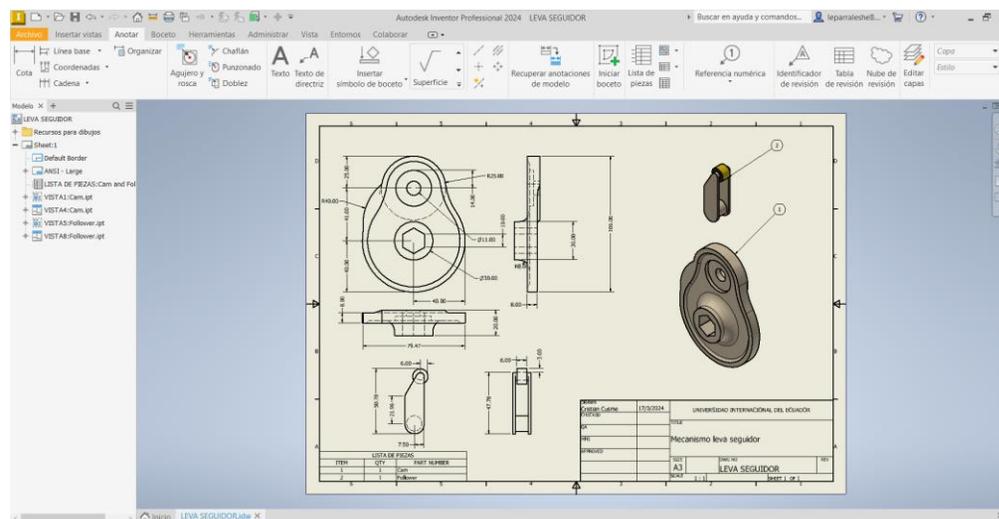
- Leva
- Seguidor
- Pasador
- Anillo
- Base

Este modelo ideal es el más común y fiable usado generalmente, sin embargo, en el presente trabajo de investigación no serán parte del tema de estudio al querer estudiar la gráfica de movimiento y no todos los componentes inmiscuidos necesariamente en el sistema, mismos que generarían investigación adicional sobre sistemas de ensamblajes más complejos, diseño de materiales en contacto, termodinámica, etc., que no son parte del trabajo investigativo.

El trabajo presente en cuestión se estudia sólo el movimiento que la leva ejercerá sobre el seguidor, es decir el movimiento lineal que produce sobre esta, sin tomar en consideración las demás magnitudes físicas, se usará el material convencional dado por el programa.

## Figura 22

### *Piezas de un Modelo Ideal en un Sistema Leva Seguidor*



De las piezas involucradas en un sistema de leva seguidor ideal se encuentran las que podemos mencionar a continuación:

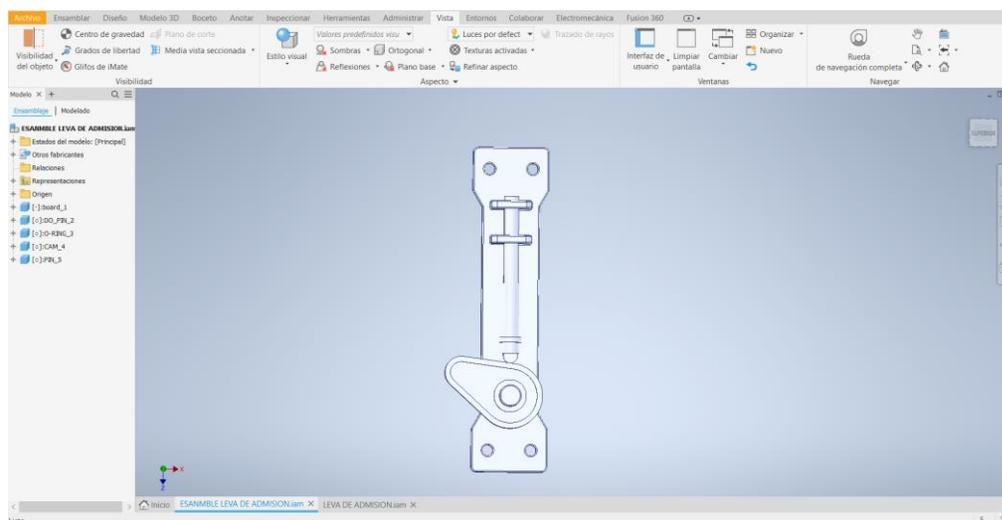
- Leva: El componente que efectuará un movimiento de rotación sobre su propio eje, generalmente este movimiento lo recibe por parte de un pasador conectado a un árbol de levas que es girado por parte de los piñones del sistema de distribución.
- Pasador: Esta pieza es la que transmite el movimiento giratorio usualmente transmitido por un árbol hacia la leva dado a que está conectada a esta y actúa como un eje de rotación.
- Anillo: El anillo cumple su función de generar hermeticidad y sellado en la unión de la leva con el pasador de la simulación de este proyecto.

- Base: Es la base física sobre la que se hará el montaje de piezas antes mencionadas que participarán en la simulación del presente proyecto de investigación, así mismo asegurará al seguidor en su movimiento lineal.

En la figura 23 se puede observar cómo queda constituida la unión o armado de las piezas que formarían parte de un sistema hermético de leva seguidor, generando un sistema hermético de piezas sólidas.

### Figura 23

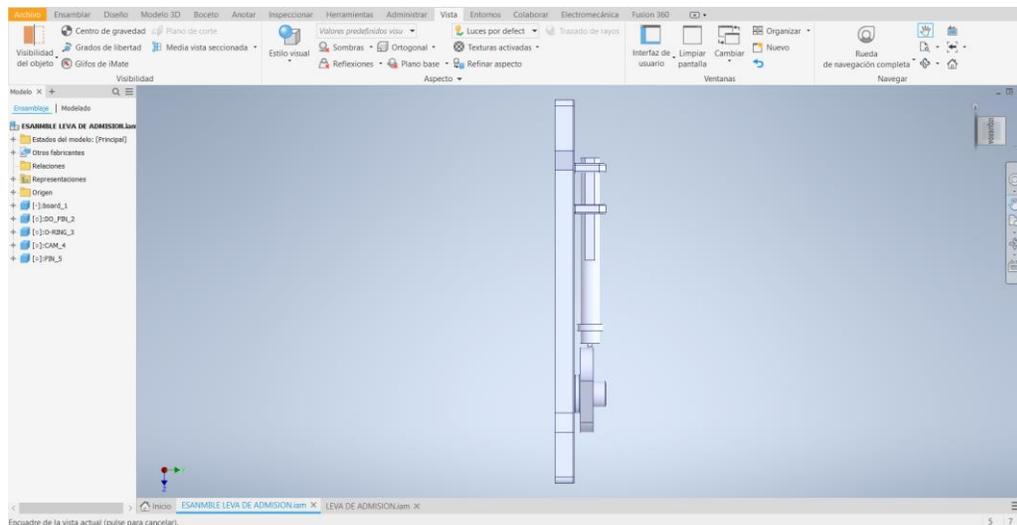
#### *Armado de las Piezas Involucradas en la Simulación*



En la figura 24 se puede visualizar la vista lateral del sistema leva seguidor armado en un escenario ideal, en el programa de ordenador Autodesk Inventor, recordemos esta gráfica del sistema es una representación de lo que sería un sistema ideal de leva seguidor.

### Figura 24

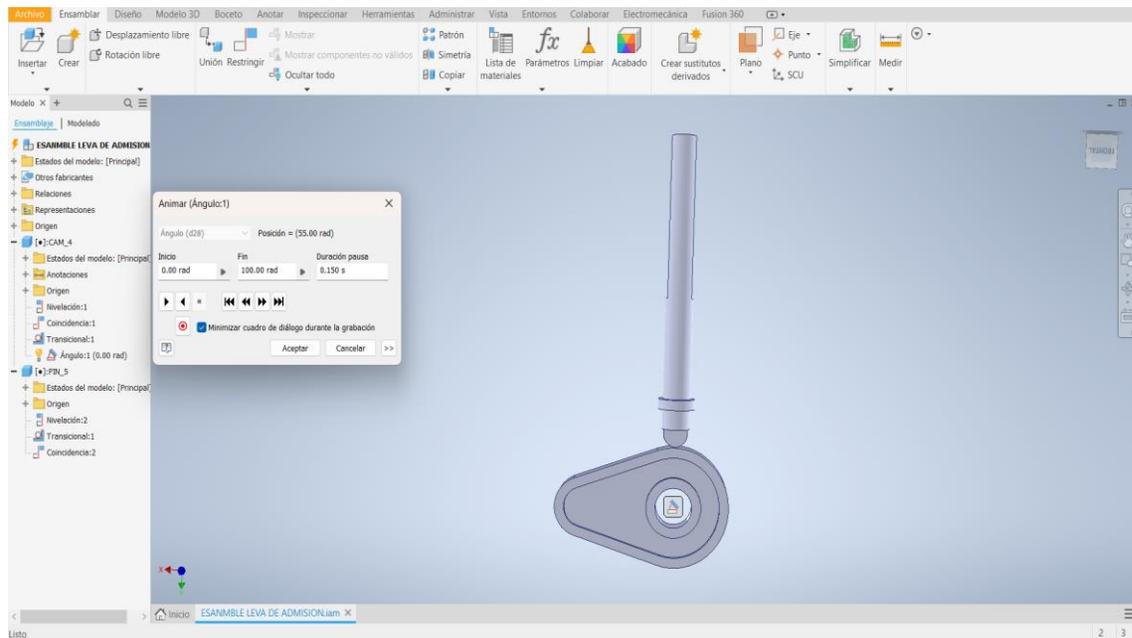
#### *Sistema Ideal Leva Seguidor en Vista Lateral*



En la figura 25 es posible ver un ejemplo de cómo se representará el movimiento del sistema una vez se ingresan los parámetros necesarios para generar la simulación y nos genere la gráfica respectiva.

**Figura 25**

*Ejemplificación del Accionamiento del Mecanismo Leva Seguidor*



### 3.4. Dibujo y Simulación Sistema Leva Seguidor

A continuación, se explica el proceso de dibujado y posterior simulación del sistema leva seguidor a estudiar en el trabajo de investigación que se ha llevado a cabo.

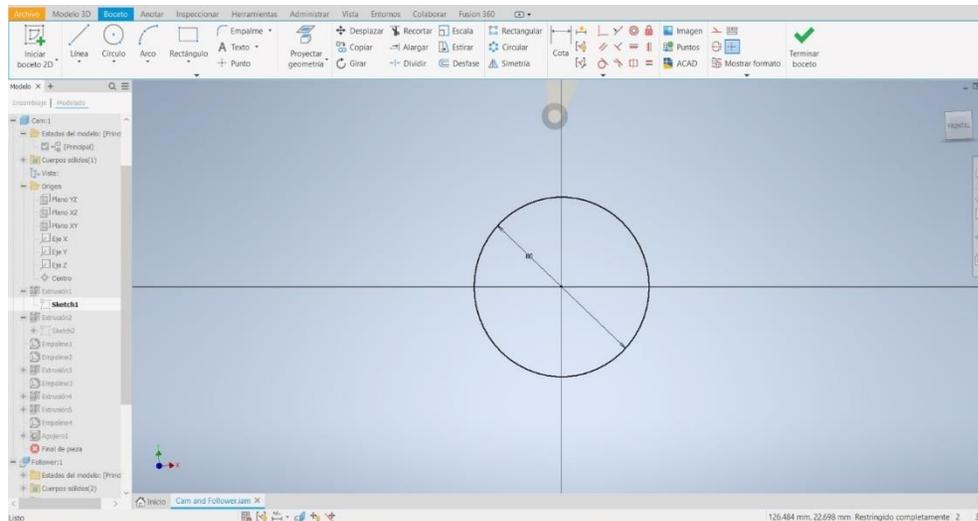
Se puede recordar que una leva se compone básicamente de 2 círculos de diferentes diámetros unidos entre sí mediante componentes sólidos, en la presente simulación tomaremos como referencia en el uso de una leva de admisión en un estado nuevo de uso al que llamaremos “escenario 1”.

Posterior a esta simulación con obtención de gráfica a continuación se modifica el diseño original de la leva causando una variación en sus medidas como referencia de desgaste de la pieza y así estudiar qué ocurrirá con su gráfica de desplazamiento. A esta variación con nuevos resultados le llamaremos “escenario 2”.

En la siguiente figura 26 se observa el dibujo inicial de la leva de escenario 1 donde el diámetro de nuestra circunferencia mayor será de 80 mm, misma que será conectada a la circunferencia de diámetro menor y donde se efectúa la unión, extrusión y demás herramientas de dibujo del programa de dibujo como se muestra a continuación:

#### **Figura 26**

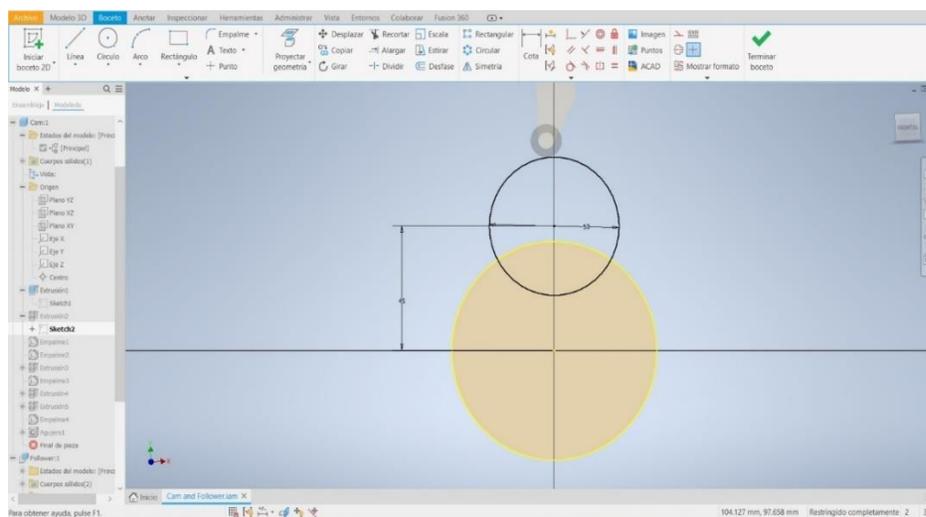
*Diámetro Mayor Leva Escenario 1*



En la figura 27 se puede observar la segunda circunferencia que formará parte de la leva en donde encontraremos la cresta en el dibujo final, este diámetro constará de 50 mm, donde efectuaremos la respectiva unión con la segunda circunferencia.

**Figura 27**

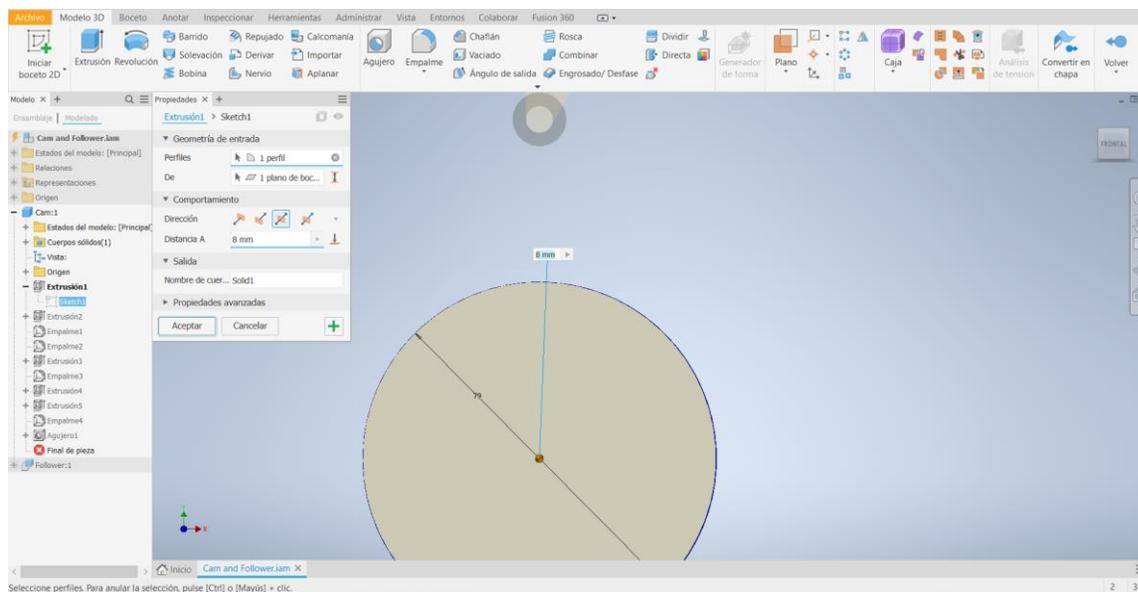
### *Diámetro Mayor Leva Escenario 1*



A continuación, se tiene la figura 28 que nos muestra cómo se prosigue con la extrusión de las circunferencias dibujadas para poder unirlos como un solo sólido.

**Figura 28**

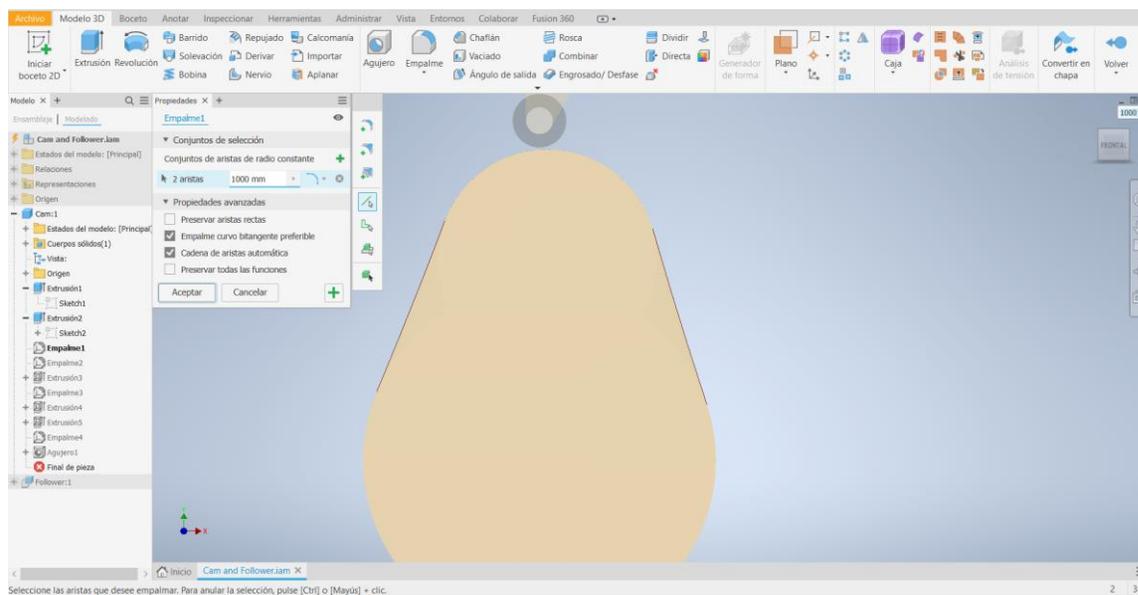
### *Extrusión y Unión de Ambas Circunferencias*



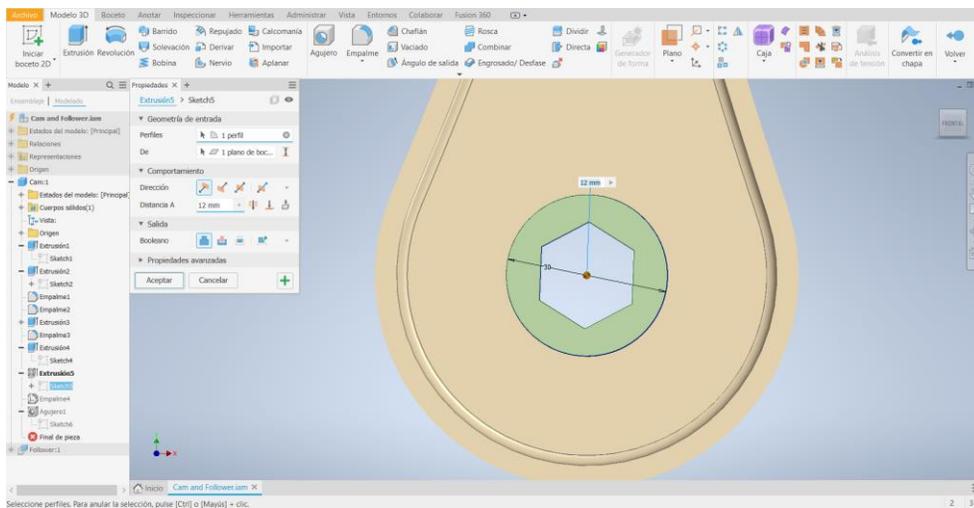
En la figura 29 se contempla el resultado de la unión de ambas circunferencias posterior a la respectiva extrusión, siguiendo a esto se aplica el empalme a la pieza.

### Figura 29

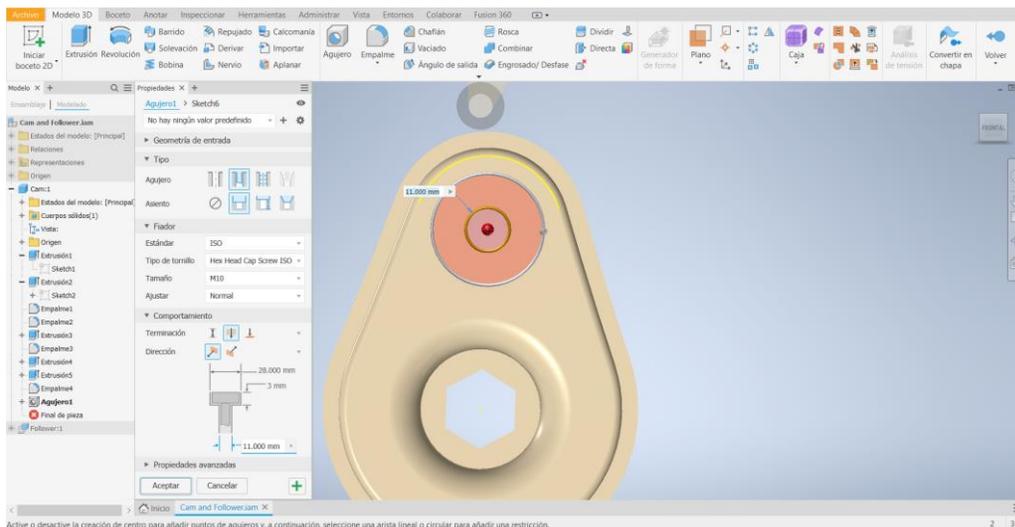
#### *Empalmado de la Leva una vez Diseñada*



Así a continuación se puede observar la figura 30 en donde realizamos la perforación de lo que será el eje que permitirá el giro de nuestra leva sobre su propio eje, así mismo aplicamos una extrusión en este punto.

**Figura 30***Elaboración del Eje de Leva*

Si siguiendo con el proceso de simulación en la imagen 31 se procede a aplicar un agujero cerca de la cresta de nuestra leva, esto para efectos visuales de la animación y reconocer el punto superior del diámetro menor del punto del diámetro inferior.

**Figura 31***Agujero Aplicado en la Leva*

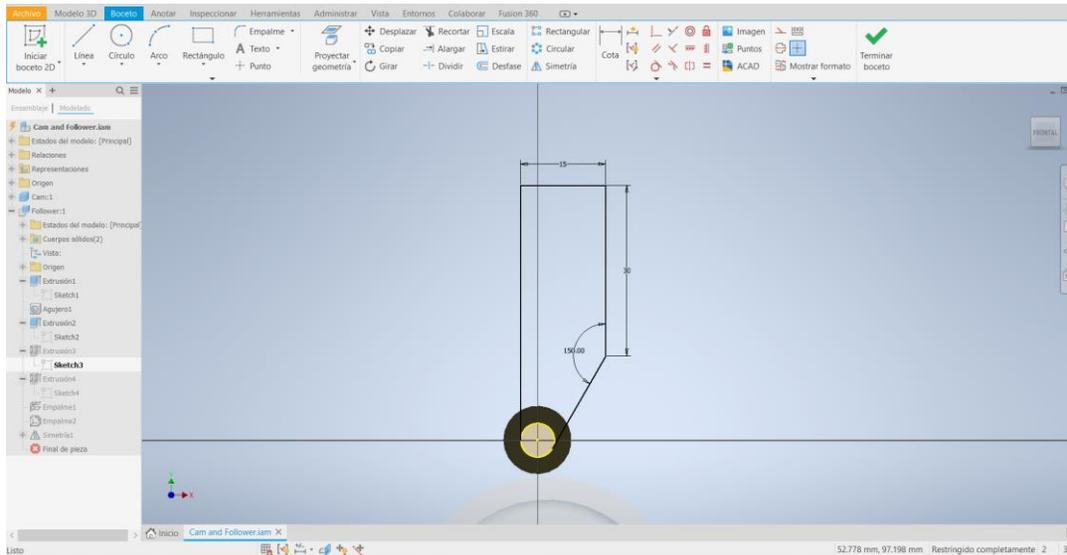
Activo o desactive la creación de centro para añadir puntos de agujeros y, a continuación, seleccione una arista lineal o circular para añadir una restricción.

2 3

Prosiguiendo en el trabajo de simulación, en la figura 32 será posible observar el proceso de boceto de las medidas del que será nuestro seguidor la animación, en esta ocasión se optó por un mecanismo leva seguidor por un rodillo.

**Figura 32**

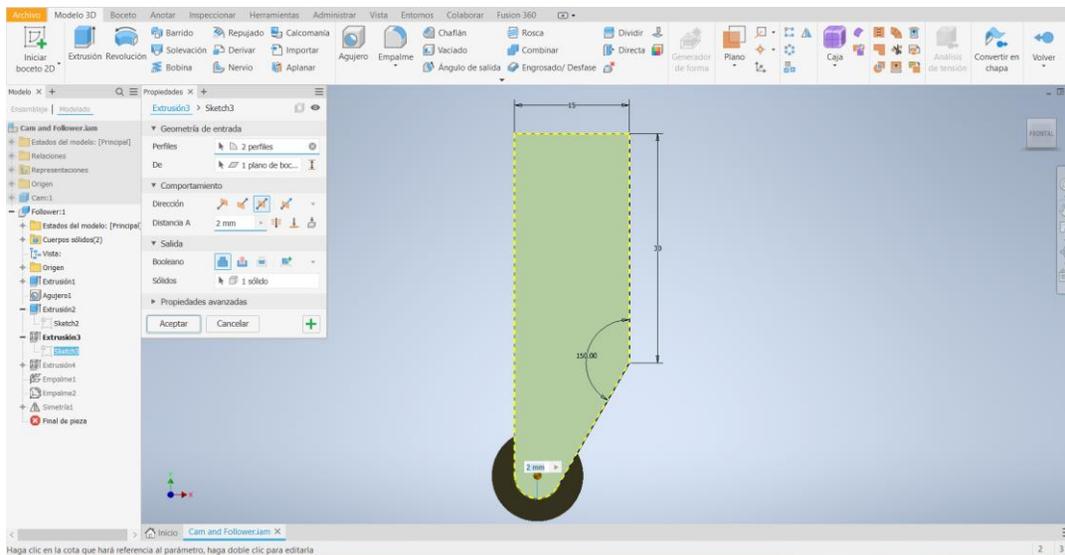
*Boceto de Seguidor con Rodillo*



En la figura 33 se observa como aplicamos la herramienta de extrusión para darle forma sólida a nuestro seguidor junto al rodillo, este estará conectado al rodillo por medio de un eje que permitirá el giro de este sobre sí mismo.

**Figura 33**

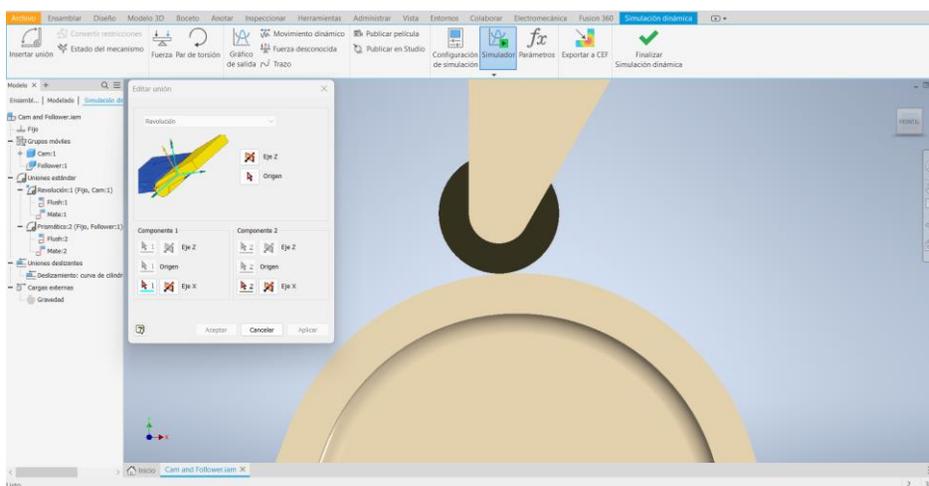
*Extrusión de Seguidor y Rodillo*



En la siguiente figura 34 se visualiza como hemos aplicado la función de unión en nuestra leva con nuestro seguidor para la posterior animación de simulación, esta herramienta del programa de asistencia por ordenador permitirá asegurar la unión física de los componentes leva con el seguidor en este caso al rodillo.

**Figura 34**

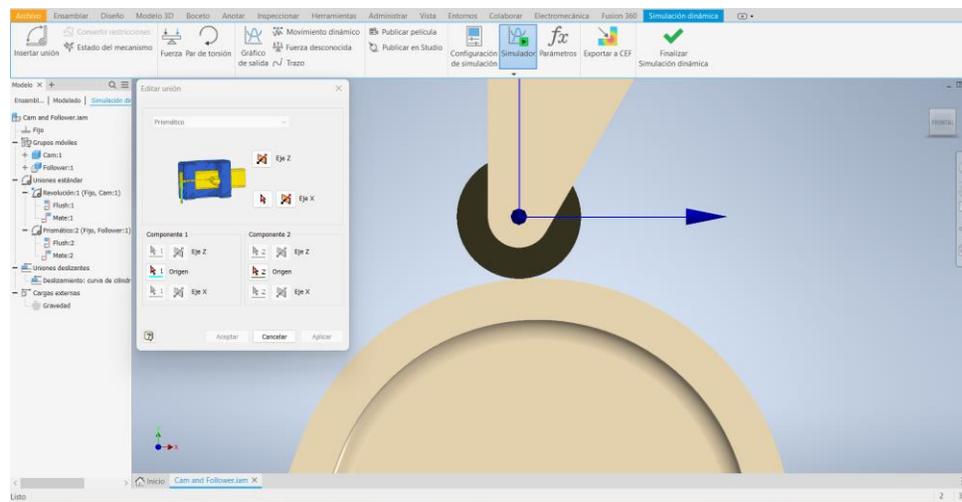
### *Unión entre Leva y Seguidor*



En la siguiente figura 35 mediante el programa de simulación se aplica al rodillo la opción de prismático, que nos brindará la facilidad que el rodillo permita el movimiento a través del área de contacto que tendrá con la leva.

**Figura 35**

*Aplique de Prismático del Rodillo con la Leva*



**3.5. Simulación y Obtención de Gráficas**

A continuación, se anexarán las imágenes de las gráficas obtenidas mediante el proceso de simulación asistido por programa de ordenador luego de efectuar los pasos antes relatados.

Primero se ingresan los parámetros de cálculos para que el programa interprete lo que estamos solicitando, dicha información se encuentra en la figura 36 a continuación:

**Figura 36**

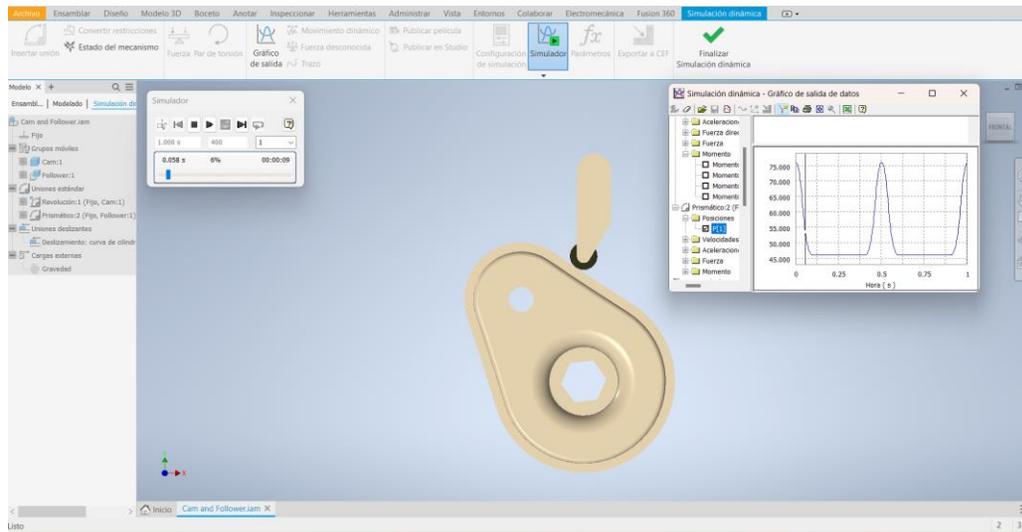
*Parámetros Para la Simulación Leva Seguidor*

Nombre de parámetro	Consumido por	Unidad/Tipo	Ecuación	Valor nominal	Tolerancia	Valor cota del mode	Clave	Expor	Comentario
d2	Nivelación:2	mm	0,000 mm	0,000000	<Por defecto>	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d3	Coincidencia:2	mm	0,000 mm	0,000000	<Por defecto>	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d4		gr/s	360 gr/s * 2 su	720,000000	<Por defecto>	720,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Velocity / Dof 1 / Revolution:1
d5		su	400 su	400,000000	<Por defecto>	400,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Number of images / Simulation Player
Parámetros del usuario									
Simulation_Timeline		su	0 su	0,000000	<Por defecto>	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Synchronize Studio time line with Dynamic Simulation images
Dynamic Simulation Par...									
d4		gr/s	360 gr/s * 2 su	720,000000	<Por defecto>	720,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Velocity / Dof 1 / Revolution:1
d5		su	400 su	400,000000	<Por defecto>	400,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Number of images / Simulation Player

Una vez ingresados los parámetros de cálculos necesarios corremos el programa para que nos emita la primera gráfica de movimiento vs tiempo y analizar el movimiento rectilíneo nuestra leva ejerce en el seguidor, información que se puede ver en la figura 37.

**Figura 37**

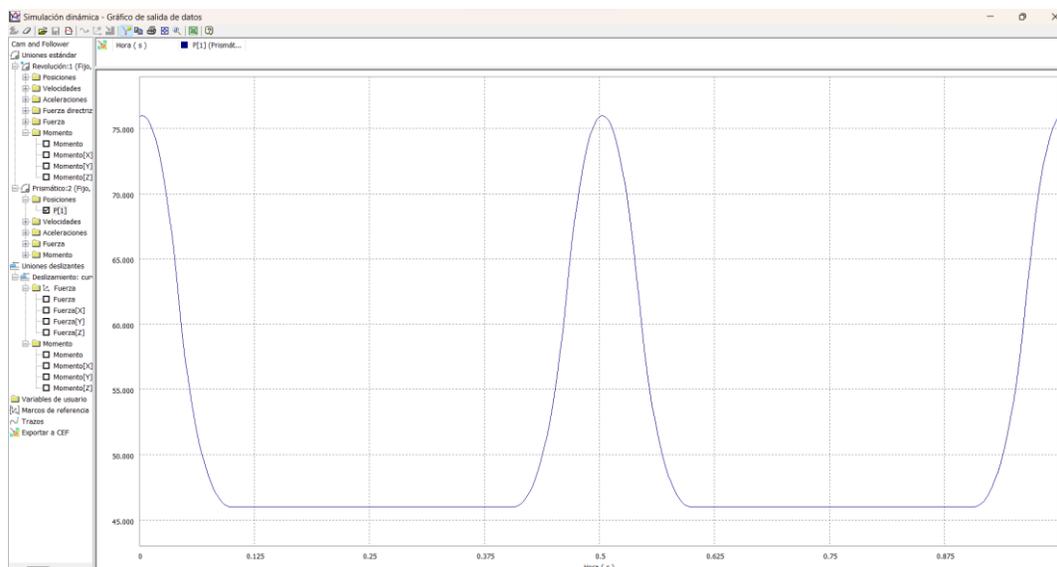
*Simulación Leva Seguidor Escenario 1*



En la figura 38 es posible ver de mejor forma la gráfica que nos emite el escenario 1, donde podemos analizar la gráfica de movimiento que realiza nuestra leva admisión en condiciones de uso normal y sin presentar algún tipo de desgaste.

**Figura 38**

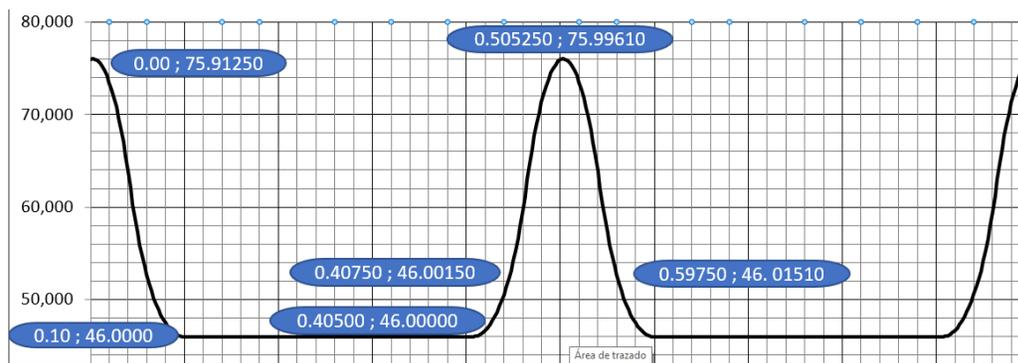
*Gráfica Movimiento vs Tiempo Escenario 1*



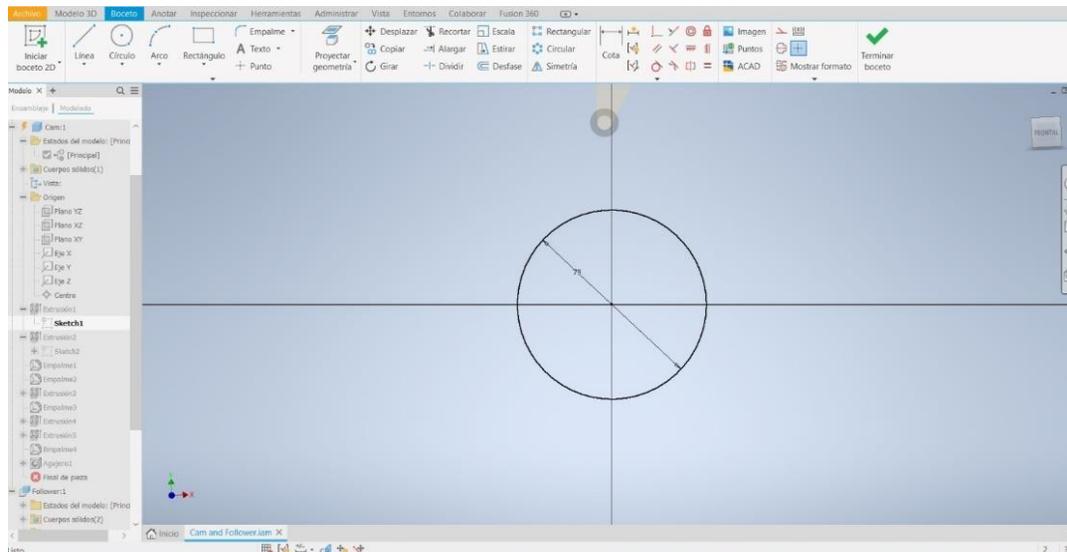
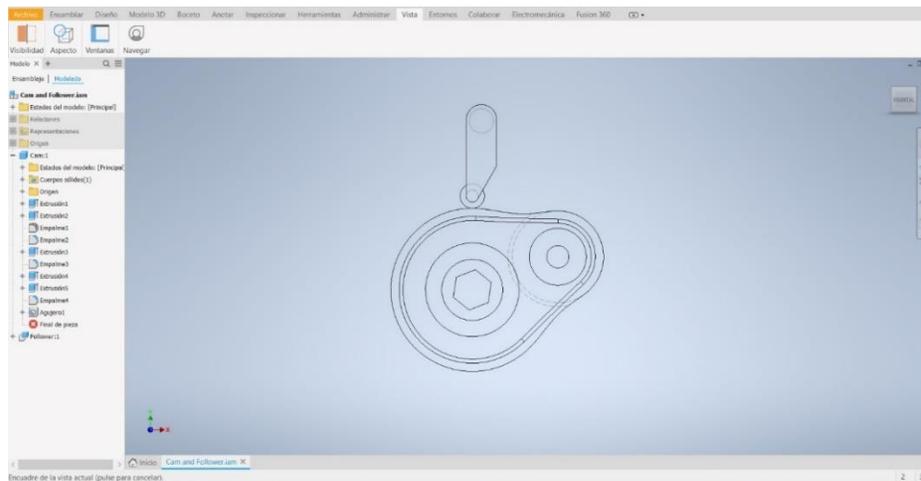
Para estudiar mejor la lectura de movimiento respecto al tiempo se adjuntarán los datos generados por el Excel de las gráficas y así entender mejor su comportamiento, en la figura 39 a continuación se analiza los datos numéricos obtenidos de la simulación del escenario 1, es decir de la leva de admisión sin ningún tipo de desgaste:

**Figura 39**

*Datos de Movimiento vs Tiempo Leva 1*



Prosiguiendo a la obtención de la gráfica de nuestro escenario 1, se procede a modificar las especificaciones de la leva original, esto con el fin de simular un desgaste de la pieza luego de distintos escenarios de trabajo, a las medidas originales. En la figura 40 y 41 podemos ver dicha modificación en ambas circunferencias del diseño inicial.

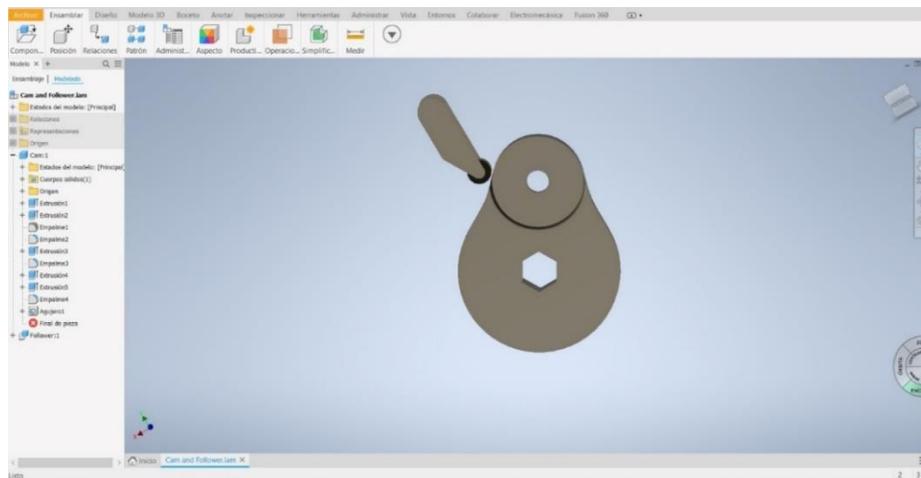
**Figura 40***Modificación de Diámetro Mayor de Leva***Figura 41***Modificación de Diámetro Menor de Leva*

Cómo podremos constatar efectuamos la modificación del diámetro inicial de nuestras circunferencias, el diámetro mayor de 80 mm pasando a 79 mm y asumiendo ocurrió un desgaste en la zona del diámetro menor, y así nuestro diámetro menor de leva pasando de 50 mm a 45 mm. Esto junto a una reducción de sus caras laterales nos genera el desgaste que buscamos emular en nuestro sistema de leva seguidor para estudio y comparación de sus gráficas.

En la figura 42 es posible ver la animación que se envió con los valores modificados de nuestra leva, obteniendo así nuestro escenario 2.

**Figura 42**

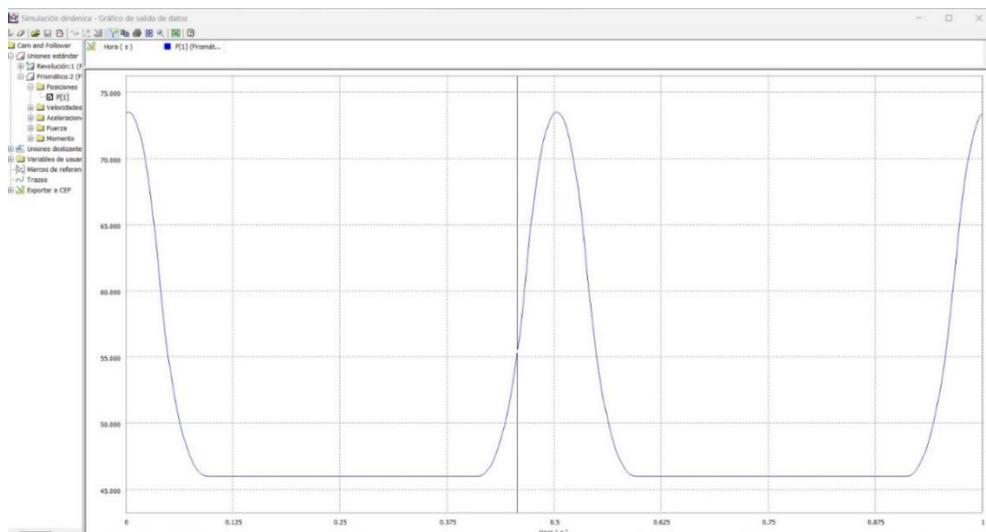
*Diseño Leva Seguidor Escenario 2*



Así entonces obtenemos una segunda gráfica de nuestro llamado escenario 2, misma que podemos analizar en la respectiva figura 43.

**Figura 43**

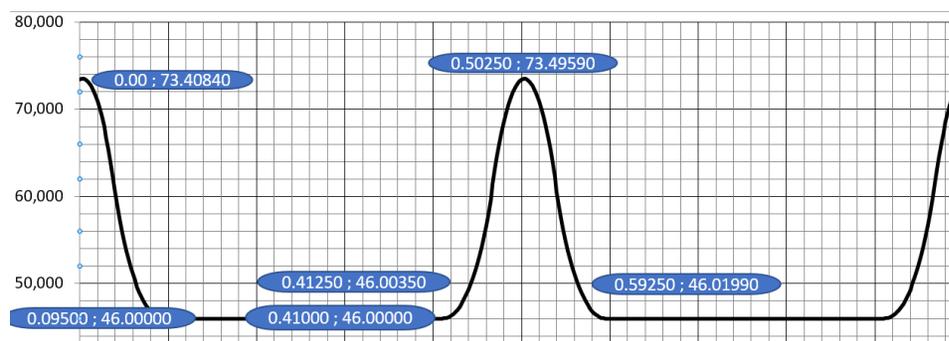
*Gráfica Movimiento vs Tiempo Escenario 2*



Para estudiar mejor la lectura de movimiento respecto al tiempo se adjuntan los datos generados por el Excel de las gráficas y así entender mejor su comportamiento, en la figura 44 a continuación se pueden ver los datos numéricos obtenidos de la simulación del escenario 2, es decir de la leva de admisión presenta desgaste:

#### Figura 44

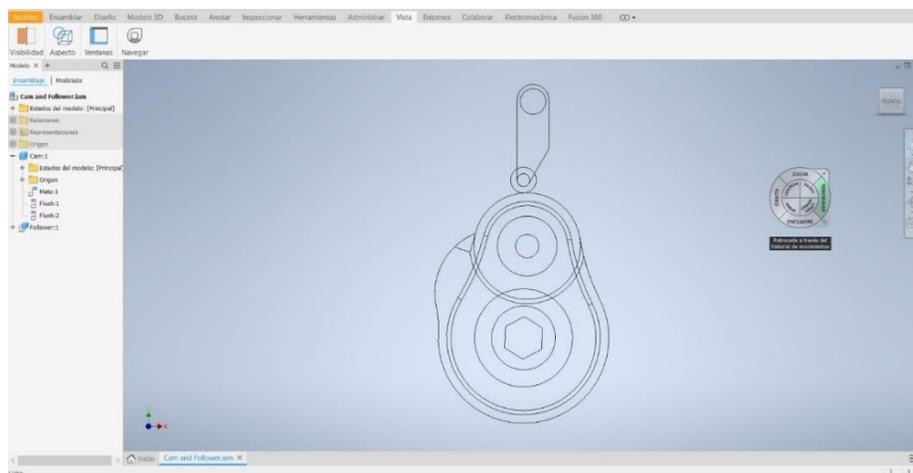
*Datos de Movimiento vs Tiempo Leva 2*



Así habiendo conseguido las respectivas gráficas de los escenarios 1 y 2 de la leva de admisión en condiciones de uso nueva y otra en condición de desgaste considerable, seguimos con el boceto y dibujo de la que será nuestra leva de escape, para esta tomamos como referencia la leva de escape que medimos inicialmente en nuestra investigación de campo, pero efectuando unas modificaciones en su diseño para fines educativos. En la figura 45 es posible observar el boceto inicial de nuestra leva de escape,

#### Figura 45

*Boceto Inicial Leva de Escape*

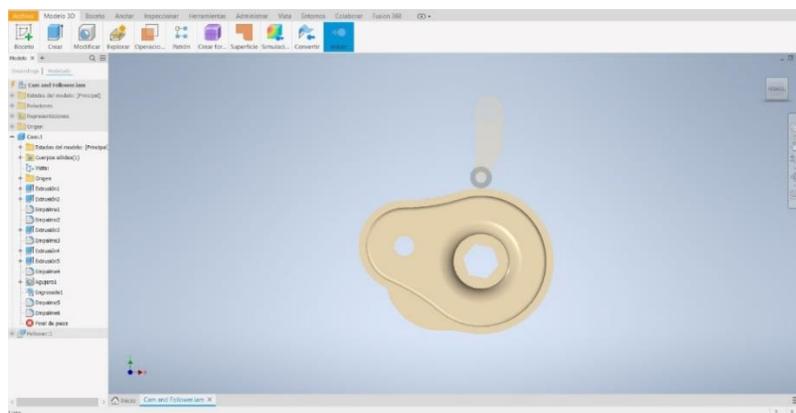


Así con nuestra leva de escape dibujada podemos proseguir en aplicar las fórmulas ya establecidas previamente para la simulación en nuestro anterior escenario 1 y escenario 2, así, por tanto, con el boceto inicial proseguimos con la unión de las piezas en un solo componente, así como la extrusión de estas para darle una forma sólida a nuestra figura de leva.

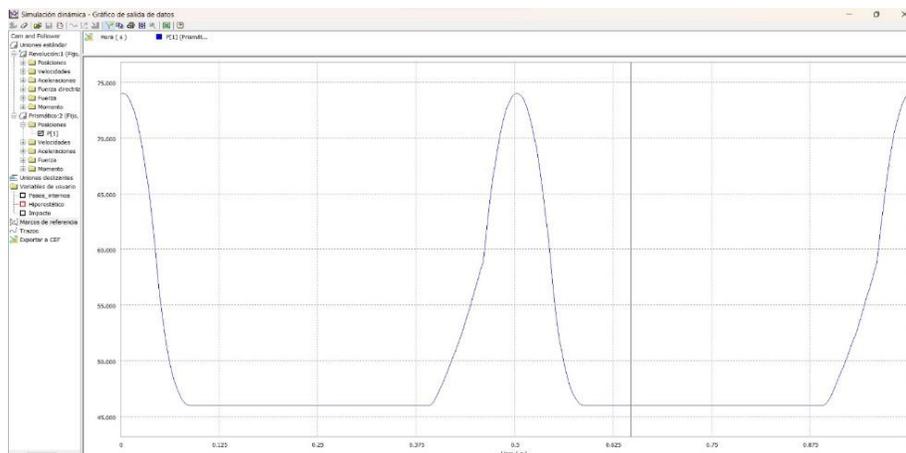
En la figura 46 se puede corroborar creación de nuestra leva de escape para simulación y análisis.

### Figura 46

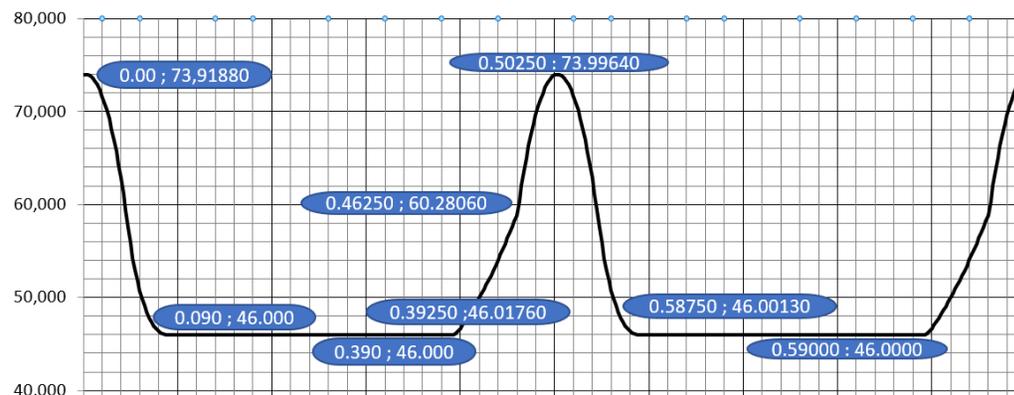
#### *Extrusión y Formación de Leva de Escape*



Con nuestra leva de escape diseñada y dibujada podemos proceder al ingreso de los cálculos, parámetros y fórmulas necesarias para enviar la respectiva simulación, a la cual denominaremos nuestro escenario 3, la cual se puede analizar en la figura 47 a continuación.

**Figura 47***Gráfica Movimiento vs Tiempo Escenario 3*

Prosiguiendo con el análisis de la gráfica obtenida podemos constatar los siguientes resultados de nuestro tercer escenario donde se simula el movimiento lineal del seguidor en una hipotética leva de escape, gráfica que se ve en la figura 48.

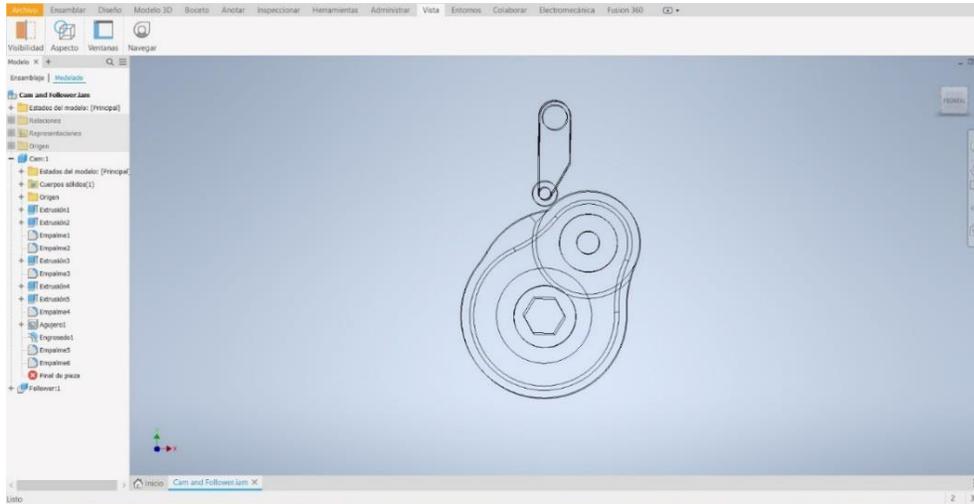
**Figura 48***Datos de Movimiento vs Tiempo Leva 3*

Siguiendo en el proyecto de investigación lo siguiente fue el dibujado y simulación de lo que sería nuestro escenario 4 en donde simulamos un desgaste en nuestra leva de escape y así poder llegar a un análisis de estudio de gráficas respecto a la variación de movimiento vs tiempo

presentado en el cuarto escenario, desgaste que podemos observar en la figura 49 donde modificamos las medidas de nuestra leva de escape.

**Figura 49**

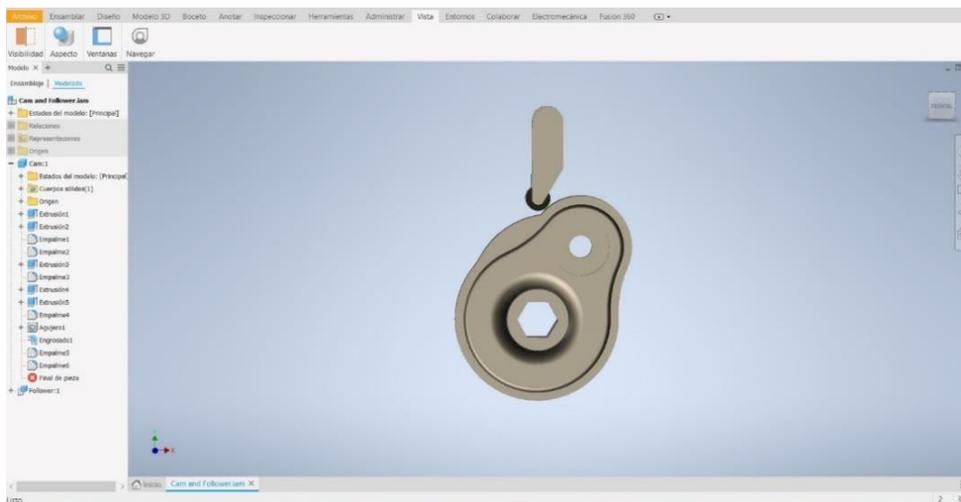
*Boceto Leva de Escape Desgastada*



Posterior a la modificación de la leva de escape para la gráfica a obtener que será nuestro escenario 4, se prosigue a la extrusión de la pieza para obtener el sólido del mecanismo leva seguidor visible en la figura 50.

**Figura 50**

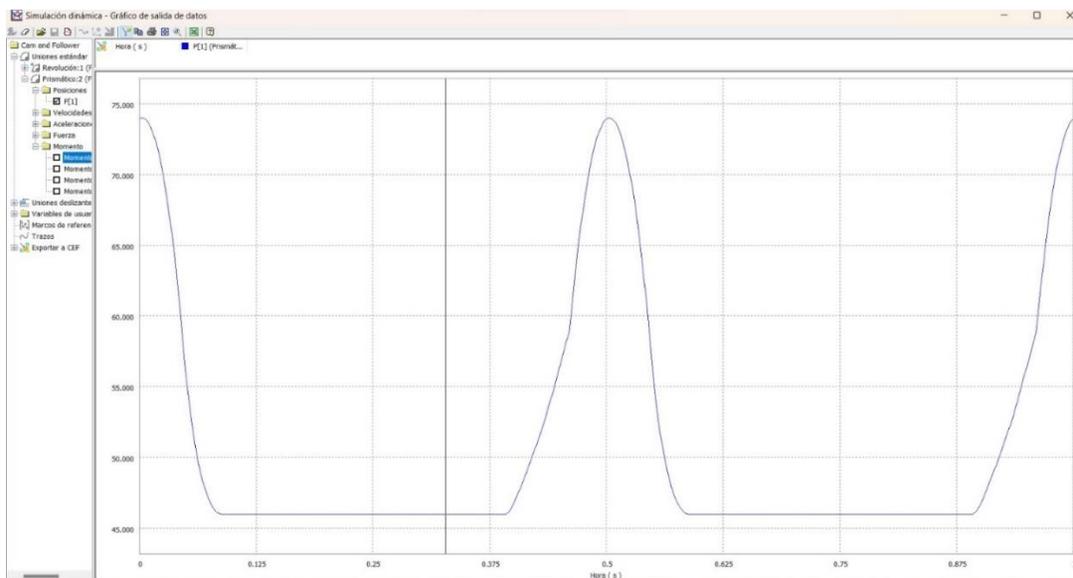
*Extrusión de Leva de Escape Desgastada*



Seguendo del proceso de extrusión ingresamos los parámetros de simulación de nuestra leva de escape con desgaste para obtener la gráfica respectiva de nuestro escenario 4 en la figura 51 para análisis respecto a la inicial gráfica 3.

### Figura 51

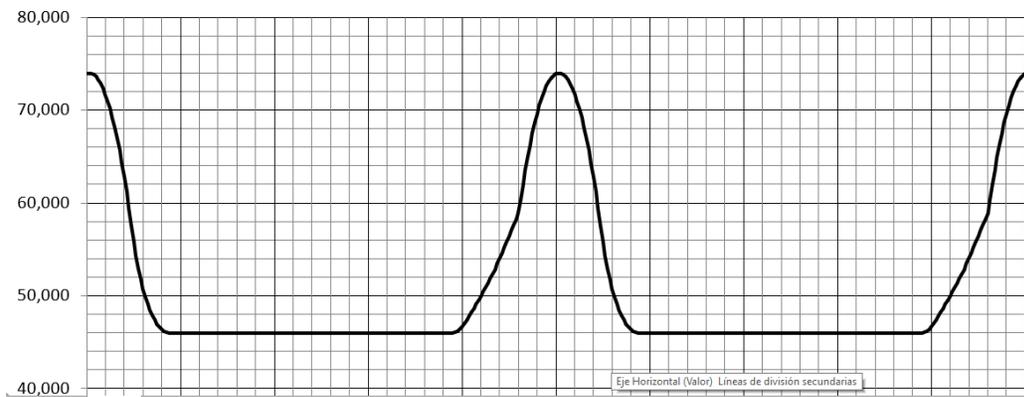
*Gráfica Movimiento vs Tiempo Escenario 4*



Así a continuación se obtienen los datos y la respectiva gráfica para estudio de nuestro escenario 4, observable en la siguiente figura 52.

### Figura 52

*Datos de Movimiento vs Tiempo Leva 4*



## **Capítulo IV**

### **Análisis de Resultados**

#### **4.1. Análisis Transitorio**

En las simulaciones vistas del presente trabajo de investigación se pudo constatar la correlación de movimiento que se presenta entre la leva y su seguidor respecto a sus posiciones de movimiento y trabajo.

El movimiento del seguidor va siempre acorde a la forma y diseño que la leva presenta respecto a sus características físicas acorde a los 360° de giro, y para el trabajo a realizar que fue diseñado.

Los mecanismos levas seguidor son parte esencial del funcionamiento del sistema de distribución, y la importancia de su perfecta calibración para asegurar un correcto funcionamiento del motor de combustión interna. Por tanto, en esta simulación de proyecto investigativo.

Así con las gráficas obtenidas podemos denotar lo siguiente:

- Gráfica 1 (Leva Admisión Nueva): En la primera gráfica que corresponde a la simulación de movimiento de nuestra leva de admisión es posible constatar lo que es el movimiento del seguidor accionado por la leva, usualmente este diseño corresponde a una gran mayoría de levas de admisión en el mercado automotriz.
- Gráfica 2 (Leva de Admisión Desgaste): En el segundo escenario es posible corroborar la variación de la gráfica respecto a la original en la 1, para esta situación por temas educativos se modificó significativamente el diseño original para poder obtener la variación que se buscaba, donde obtuvimos una reducción en el movimiento lineal del seguidor de un 3.29 %.
- Gráfica 3 (Leva de Escape Nueva): Después del escenario de admisión se continúa a los escenarios de la que es la leva de escape, en donde el primer caso de una nueva pudimos diseñar y dibujar con variaciones significativas en la curva que pudimos constatar en la gráfica correspondiente, la misma que muestra la variación significativa en la formación de la cresta del movimiento vs tiempo.
- Gráfica 4 (Leva de Escape Desgaste): En el cuarto escenario o nuestra leva de escape la cual ya presentaría un desgaste para estudio del caso, la cual se simula con variaciones en sus características físicas dando importancia en modificaciones en su cresta, la cual obtuvimos una gráfica que nos indicaba el cambio importante de la curva en esta parte del sistema leva seguidor.

## 4.2. Análisis de Resultados

Una vez concluida las simulaciones de los distintos escenarios de estudio analizados durante el presente trabajo de investigación y habiendo estudiado las gráficas obtenidas podemos descomponer y detallar tanto el escenario de admisión como de escape, en la siguiente tabla 4 es posible estudiar la comparativa de la leva de admisión y su variación de recorrido.

**Tabla 4.**

*Comparativa Escenario Leva de Admisión*

Leva de Admisión			
Sin Desgaste		Con Desgaste	
Tiempo	Distancia	Tiempo	Distancia
0.10000	46.00000	0.09500	46.00000
0.40500	46.00000	0.41000	46.00000
0.40750	46.00160	0.41250	46.00350
0.46000	59.46420	0.46000	56.72370
0.50250	75.99610	0.50250	73.49590
0.54500	60.33700	0.54500	57.45320
0.59750	46.01510	0.59250	46.01990
0.60000	46.00000	0.59500	46.00000

**Tabla 5.**

*Comparativa Escenario Leva de Escape*

Leva de Escape			
Sin Desgaste		Con Desgaste	
Tiempo	Distancia	Tiempo	Distancia
0.09000	46.00000	0.09000	46.00000

0.39000	46.00000	0.39000	46.00000
0.39250	46.01760	0.39250	46.00350
0.46000	58.83010	0.46000	56.72370
0.50250	73.99640	0.50250	73.49590
0.54500	59.45256	0.54500	57.45320
0.58750	46.00130	0.58750	46.01990
0.59000	46.00000	0.59000	46.00000

---

### **Conclusiones**

Se investigó los parámetros técnicos del mecanismo leva seguidor que usa el motor J20A del Suzuki Grand Vitara SZ donde encontramos un diseño de levas simples pero preciso, además de su evolución como la inclusión de un sistema VVT a partir del año 2005 hasta el final de su producción. Este motor diseñado por Suzuki cuenta con una

relación de compresión de 9.7:1 y una disposición de cilindros de encendido en orden de 1-3-4-2,

Se modeló las levas que intervienen en el sistema de distribución del presente caso de estudio para su respectivo análisis de simulación en escenarios de admisión y escape en condiciones de uso normal y en un escenario de simulación de desgaste significativo, todo esto mediante el programa de ordenador asistido Autodesk Inventor. Se logró modelar las válvulas de admisión y escape del motor J20A del Suzuki Grand Vitara SZ, mismas que como se pudo analizar poseen leves diferencias de altura de cresta, siendo la admisión de 45.7 mm y la de escape 45.4 mm, valores aproximados a los indicados por el fabricante.

Se simuló mediante el programa en cuestión en gráficas de movimiento vs tiempo los distintos escenarios de estudio que buscaba el presente proyecto de tesis, así dando como resultado la comprobación de las variaciones en movimiento que realizaría el seguidor dado a que está directamente relacionado al diseño físico de la leva que lo acciona. Las simulaciones de desgaste de tanto leva de admisión como de escape se incluyeron en el proyecto de investigación donde se obtuvo según el análisis de gráficas un -4.60% en admisión.

### **Recomendaciones**

Del presente proyecto investigativo de tesis y de futuros trabajos investigativos que pueden partir de este o sus similares es posible recomendar las siguientes indicaciones:

La principal recomendación muy importante es tener identificados los componentes inmiscuidos en el sistema a estudiar, esencialmente para este caso los repuestos involucrados en este como lo fueron los árboles de leva originales nuevos para las tomas de medida, y este proceso realizar la toma de medidas lo más correcto y certeras posibles.

Siguiendo a una nueva recomendación, durante el proceso de estudio pudimos estudiar los perfiles y estilos de sistemas leva seguidor, el análisis matemático nos permitió analizar si una leva es viable en funcionamiento o no, todo esto sumando importancia en escenarios donde nos permitan diseñar, dibujar y aplicar una leva incluso desde su fabricación.

Poder estudiar y analizar los parámetros técnicos presentes en el diseño y aplicación de una leva, tanto como el uso que se le dará, los esfuerzos físicos a los que estará sometido, elección de materiales (caso fuera de estudio del presente trabajo investigativo), así como saber que en escenarios asegurar el contacto entre la leva con el seguidor en todo momento para evitar “saltos” que perjudicarían el funcionamiento correcto del sistema.

## Bibliografía

- Academia Balderix. (01 de 03 de 2023). *Ingenierizando*. Obtenido de Ingenierizando: <https://www.ingenierizando.com/maquinas-y-mecanismos/leva-seguidor/>
- Aquino, S., Tierra, L., Pozo, E., Escobar, M., Ordoñez, M., & Choto, L. (2018). Análisis cinemático de levas de baja velocidad, con leyes combinadas en base a métodos geométricos y matemáticos. *Dominio de las Ciencias*, 189.
- Campillo de Blas, G. (06 de 2017 de 2017). *Universidad de Valladolid Repositorio Documental*. Obtenido de Universidad de Valladolid Repositorio Documental: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/25876/TFG-I-722.pdf?sequence=1>
- Chele, D., & Vera, E. (28 de 10 de 2018). Metodologías activas para el aprendizaje del instrumento de medición-micrómetro. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Díaz, J. (2018). Simulación de Mecanismos con Análisis de Elementos Finitos. *Revista de Ingeniería y Simulación, Vol 10, No 2*, 45-58.
- EstalinJRM. (1 de Octubre de 2020). *YouTube*. Obtenido de YouTube: [https://www.youtube.com/watch?v=nc\\_SeUJMxQg](https://www.youtube.com/watch?v=nc_SeUJMxQg)
- García, A. (2020). *Diseño de Mecanismos Leva-Seguidor en Ingeniería Mecánica*. Medellín: Editorial Vásquez.
- García, D. (05 de 02 de 2022). *Repositorio Digital UIDE*. Obtenido de Repositorio Digital UIDE: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/5160/1/T-UIDE-0216.pdf>
- García, J., Flórez, L., & Higuera, O. (2007). Generación de Perfiles de Levas de Disco y Levas Cilíndricas 3D en Solidworks mediante una aplicación de Visual Basic. *Redalyc*, 2-3.
- García, J., Flórez, L., & Higuera, O. (s.f.). Generaciones de Levas de Discos y Levas Cil.
- García, V. (4 de Marzo de 2018). *MomentoGP*. Obtenido de MomentoGP: <https://www.momentogp.com/distribucion-y-distribuciones-variables-tipos-y-como-funcionan/#:~:text=Las%20distribuciones%20pueden%20ser%20de,%3A%20correa%2C%20cadena%20y%20pi%C3%B1onear%C3%ADa.>
- González, A. (2017). Aplicaciones de Mecanismos de Conversión de Movimiento en Ingeniería Mecánica. En A. Gonzáles, *Aplicaciones de Mecanismos de Conversión de Movimiento en Ingeniería Mecánica* (págs. 50-60). Barcelona: VIENA.
- González, A. (2017). *Aplicaciones de Mecanismos de Conversión de Movimiento en la Industria Automotriz*. Madrid: Editorial Aguilar.
- González, A. (6 de julio de 2018). Aplicaciones de Perfiles de Leva de Avance y Retroceso en Máquinas de Coser Industriales. *Journal of Industrial Machinery, Vol 15, No 3*, págs. 78-94.
- Johnson, R. (20 de Julio de 2019). Desafíos de Manufactura en Sistemas de Precisión Mecánica. *Periódico de Tecnología en Manufactura, Vol 12, No 2*, págs. 78-94.
- Johnson, R. (2019). Diseño y Aplicaciones de Mecanismos Leva-Seguidor en Ingeniería Mecánica. *Revista Internacional de Ingeniería Mecánica, Vol 22, No 3*, 85-98.

- López, A. (2018). Sistema de Leva-Seguidor y su Importancia en la Eficiencia de Motores de Combustión Interna. *Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica*, 112-127.
- López, A. (2018). Sistema de Leva-Seguidor y su Importancia en la Eficiencia de Motores de Combustión Interna. *Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica*, 112-127.
- López, E. (2019). Análisis de Desgaste y Mantenimiento de Mecanismos de Seguidores. *Conferencia Internacional de Procedimientos de Ingeniería Mecánica*, 220-235.
- López, E. (2019). Diseño y Análisis de Mecanismos Leva-Seguidor con Contacto Cilíndrico. *Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica*, 120-135.
- López, E. (2019). Perfil de Leva de Perfil Variable en Maquinaria Industrial: Control Preciso del Movimiento. *Revista Internacional de Ingeniería Mecánica*, Vol 25, No 4, 220-235.
- López, E. (2020). Aplicaciones de Solidworks en la Simulación de Sistemas Leva-Seguidor. *Revista Internacional de Ingeniería Mecánica*, Vol 28, No 4, 220-235.
- Malo, J. (1 de Febrero de 2014). *Acerca de Nosotros: UIDE Repositorio*. Obtenido de UIDE Repositorio: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/167>
- Martínez, F. (2017). Perfil de Leva Uniforme en Impresoras de Inyección de Tinta. *Revista de Ingeniería Mecánica Vol 20, No. 1*, 30-45.
- Martínez, P. (2018). Aplicaciones de Rodillos en Mecanismos Leva-Seguidor: Estudio de Casos. *Revista de Ingeniería Mecánica*, Vol 24, No 1, 56-72.
- Martínez, P. (25 de Abril de 2018). Diseño y Análisis de Mecanismos Simples. *Diario Internacional de Ingeniería Mecánica*, Vol 25, No 3, págs. 145-160.
- Martínez, P. (18 de Septiembre de 2018). Sincronización de las Válvulas en un Motor a Combustión Interna: Rol del Mecanismo Leva-Seguidor. *Periódico Internacional de Ingeniería Automotriz*, págs. 220-235.
- Martínez, P. (2020). Optimización de Perfiles de Levas en Motores de Combustión Interna para Controlar el Recorrido Lineal de las Válvulas. *Revista de Ingeniería Automotriz*, Vol 18, No 1., 45-62.
- Martínez, P. (2021). Aplicaciones Prácticas del Mecanismo Leva-Seguidor en la Industria. *Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica*, 112-127.
- Olmedo, J., Vasconez, E., Culqui, B., & Piovan, M. (2019). APLICACIÓN DE CURVAS DE BÉZIER EN EL DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE LEVAS PARA ALTA VELOCIDAD. *Revista Ciencia*, 146.
- Parra, J. (2016). Programa QtCam para el diseño y análisis de mecanismos planos de leva-palpador. *Revista de la UPC Universidad Politécnica de Catalunya*, 11.
- Pérez, A. (29 de Enero de 2008). *Mecapedia*. Obtenido de Mecapedia: <http://www.mecapedia.uji.es/pages/seguidor.html>
- Pérez, L. (2015). Avances en Tecnología de Sistemas de Distribución y su Impacto en la Eficiencia de Motores Automotrices. *Congreso Internacional de Ingeniería Automotriz, Actas*, 120-135.
- Pérez, L. (2021). Optimización de Diseños de Sistemas Leva-Seguidor Mediante Simulación en Solidworks. *Revista de Ingeniería y Diseño Mecánico*, Vol 15, No 3, 78-94.

- Rivas, J. (09 de 05 de 2019). *Tesis Doctorals en Xarxa*. Obtenido de Tesis Doctorals en Xarxa:  
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6733/09Jrr09de27.pdf?sequence=9&isAllowed>
- Rodríguez, E. (2017). Sistemas de Distribución y su Importancia en la Eficiencia de Motores de Combustión Interna. *Revista Internacional de Ingeniería Mecánica*, Vol 15, No 3, 45-58.
- Rodríguez, R. (26 de Agosto de 2021). Consideraciones en Reversibilidad de Mecanismos Leva-Seguidor. *Periódico Internacional en Investigación de Ingeniería*, Vol 28, No 4, págs. 315-333.
- Rodríguez, R. (2021). Mecanismos de Cuña en Ingeniería: Aplicaciones y Consideraciones de Diseño. *Revista Internacional de Ingeniería*, Vol 15, No 2, 90-105.
- Saralegui, G., Pary, G., & Marconi, M. (4 de Marzo de 2019). *Acerca de Nosotros: Studocu*. Obtenido de Studocu: <https://www.studocu.com/row/document/sensei-institute-of-technology/mecanico-automotriz/sistema-de-distribucion/42722064>
- Saralegui, G., Pary, G., & Marconi, M. (4 de Marzo de 2019). *Studocu*. Obtenido de Studocu: <https://www.studocu.com/row/document/sensei-institute-of-technology/mecanico-automotriz/sistema-de-distribucion/42722064>
- Serrano, A. (18 de 10 de 2010). *CORE*. Obtenido de CORE: <https://core.ac.uk/download/pdf/30043698.pdf>
- Smith, J. (2017). *Mecanismos de Conversión de Movimiento: Funcionamiento del Mecanismo Leva-Seguidor*. Madrid: Editorial ABC.
- Smith, J. (19 de Octubre de 2020). Principios y Aplicaciones de Mecanismos de Precisión en Diseño de Juguetes. *Periódico de Ingeniería de Juguetes*, Vol 15, No 2, págs. 45-60.
- Sousa, A. (2018). Utilización de Software AutoCAD como instrumento didáctico para la formación académica en la enseñanza de Ingeniería Arandu. *UTIC*, 5.
- Wers, S. (19 de 11 de 2018). *Engine Specs*. Obtenido de Engine Specs: <https://www.engine-specs.net/suzuki/j20.html>

