



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

“DISEÑO MECÁNICO SUSTENTABLE DE UNA  
BICICLETA PLEGABLE”

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

**JENOC TRUEBA BARRIOS**

ASESOR: DR. JAVIER JIMÉNEZ GARCÍA



FES Aragón

MÉXICO

2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Índice

Introducción	1
<b>I. Medios de transporte</b>	<b>4</b>
<b>I.1. Características generales del transporte</b>	<b>6</b>
<b>I.2. Transporte en México</b>	<b>9</b>
I.2.1. Automóvil	11
I.2.2. Autotransporte de carga y de pasajeros	12
I.2.3. Transporte urbano y suburbano público de pasajeros	13
<b>I.3. El transporte público urbano en la Ciudad de México</b>	<b>14</b>
I.3.1. Taxis	15
I.3.2. Buses urbanos (microbuses)	15
I.3.3. Colectivos, combis o peseros	16
I.3.4. Buses interurbanos	16
I.3.5. Metro	17
I.3.6. Metrobús	17
<b>I.4. El problema del transporte urbano</b>	<b>17</b>
I.4.1. La situación en México	19
I.4.2. Análisis estadístico del transporte en la Ciudad de México	21
<b>I.5. La bicicleta</b>	<b>25</b>
I.5.1. Elementos de la bicicleta	34
I.5.1.1. El cuadro	38
I.5.1.2. Los frenos	38
I.5.1.3. Las ruedas	39
I.5.1.4. Suspensión.	40
<b>I.6. Relación cuerpo-bicicleta</b>	<b>41</b>
<b>I.7. Impacto en el cuerpo humano</b>	<b>43</b>
I.7.1. Primer estudio sobre salud y bicicleta	43
<b>I.8. Fuerzas en la bicicleta</b>	<b>48</b>
<b>I.9. ¿Por qué la bicicleta como una solución?</b>	<b>53</b>
I.9.1. Ventajas en bicicleta	54
<b>I.10. ¿Por qué el uso de la bicicleta en la Ciudad de México?</b>	<b>60</b>
<b>II. Diseño mecánico</b>	<b>66</b>
<b>II.1. Factores del Diseño</b>	<b>67</b>
II.1.1. Consideraciones económicas	68
II.1.2. Selección de elementos comerciales	69
II.1.2.1. Uso de tamaños estándares	69
II.1.2.2. Uso de amplias tolerancias	70
II.1.2.3. Puntos de equilibrio	71
II.1.2.4. Estimaciones de costo	71
II.1.3. Consideraciones generales	72
II.1.3.1. Consideraciones modernas	72

<b>II.2.</b>	<b>El Proceso del Diseño</b>	73	
II.2.1.	Identificación de la necesidad	74	
II.2.2.	Investigación preliminar	75	
II.2.3.	Planteamiento de la meta	76	
II.2.4.	Especificaciones de funcionamiento	76	
II.2.5.	Ideación e invención (creatividad)	77	
	II.2.5.1. Proceso creativo	78	
		II.2.5.1.1. Generación de ideas	78
		II.2.5.1.2. Lluvia de ideas	79
II.2.6.	Análisis	80	
II.2.7.	Selección	80	
II.2.8.	Diseño detallado	81	
II.2.9.	Prototipos y pruebas	81	
II.2.10.	Producción piloto	83	
<b>II.3.</b>	<b>Selección de Materiales</b>	84	
II.3.1.	Propiedades de los materiales	85	
	II.3.1.1. Costo y disponibilidad	86	
	II.3.1.2. Apariencia, vida de servicio y reciclado	88	
<b>II.4.</b>	<b>Herramientas modernas de diseño.</b>	88	
II.4.1	Diseño asistido por computadora CAD	89	
<b>II.5.</b>	<b>Morfología del diseño</b>	91	
<b>II.6.</b>	<b>Bicicleta plegable</b>	92	
II.6.1.	Identificación de la necesidad	95	
II.6.2.	Investigación preliminar	95	
II.6.3.	Planteamiento de la meta	96	
II.6.4.	Especificaciones de funcionamiento	96	
II.6.5.	Mecanismos de tracción (caja de pedales)	99	
	II.6.5.1. Engranés	105	
	II.6.5.2. Fuerzas en los engranes	119	
II.6.6.	Diseño y elementos de la estructura (cuadro)	140	
	II.6.6.1. Análisis de fuerzas en la estructura	151	
	II.6.6.2. Análisis especial para puntos críticos	154	
	II.6.6.3. Esfuerzo de diseño	159	
	II.6.6.4. Esfuerzo por flexión	163	
II.6.7.	Mecanismo de plegado	167	
II.6.8.	Elementos comerciales	173	
II.6.9.	Validación experimental	175	
	<b>Conclusiones</b>	180	
	<b>Bibliografía</b>	182	

## **Introducción**

Las ciudades se enfrentan hoy en día a serios problemas de transporte urbano debido al número creciente de vehículos en circulación.

Las ciudades son los principales centros de las actividades económicas, por ello la población tiende a desplazarse a éstas. Tal concentración de personas requiere transporte no sólo para ellas mismas, sino también para los productos que consumen o producen.

El transporte puede generar diversos impactos ambientales, como congestión vehicular, contaminación del aire, ruido, así como la invasión de la tranquilidad en ciertas áreas.

En áreas urbanas la contaminación ambiental es uno de los más grandes problemas que enfrenta la población mundial y es el tráfico vehicular el que juega un papel primordial, ya que es la principal fuente de emisiones contaminantes en áreas urbanas.

La industria automotriz ha modificado su enfoque e imagen en los últimos años de manera sustancial, esta perspectiva obedece a la concientización sobre los temas de consumo y emisiones, enfocados al impacto que estos tienen respecto al medio ambiente.

Lo que es un hecho, que pese a los grandes esfuerzos que se hagan en un futuro para proveer a la población de vehículos eléctricos o ecológicos, se combatirá un problema de contaminación del aire, pero para nada solucionará el problema del tránsito por lo establecido en el tema de población y transporte.

Hoy en día no existe ningún gobierno capaz de garantizar un proyecto en materia de vialidad que solucione los problemas de tránsito, es decir los gobiernos

mundiales, combaten los problemas de tránsito con nuevas vialidades, pero ninguna es capaz de dar una solución concreta y satisfactoria, mucho menos a futuro.

Bajo este marco de referencia, este proyecto plantea el uso del vehículo más eficiente, el cual es la bicicleta. El uso de este vehículo como solución de transporte no es una novedad, muchos países han adoptado a este vehículo como solución.

Es importante mencionar que cuando inicia la presente investigación que plantea a la bicicleta como solución al problema de la contaminación ambiental y de transporte, en la Ciudad de México se estaban desarrollando programas dirigidos al apoyo del ciclista por encima de un automovilista y al desarrollo y construcción de ciclovías en diversas avenidas de la ciudad con el objeto de impulsar este tipo de transporte.

Considerando que México es primer lugar de obesidad, el uso de la bicicleta no sólo como transporte, sino como impulsor del deporte, sustenta aún más la promoción del uso diario de la bicicleta.

Es evidente que en la Ciudad de México la mayoría de los traslados de la población no son pequeños, definitivamente no se puede pensar que una persona se traslade más de 5 kilómetros diariamente a la escuela o trabajo en bicicleta, mucho menos personas que no tienen una condición física para trasladarse varios kilómetros.

Por lo anterior, el proyecto propone una bicicleta, que sea capaz de combinarse con el transporte público, por ello se define una bicicleta plegable, que sea transportable permitiendo combinar el uso de la misma con los diferentes medios de transporte, así como dimensiones adecuadas para que no sea un estorbo en las zonas designadas para ésta y sobre todo que sea cómoda.

Existen numerosas propuestas de bicicletas plegables en el mundo, con el mismo fin de hacerlas transportables. En esta investigación se propone una, que aunada a un mecanismo diferente, que por la naturaleza de los materiales evite la lubricación y satisfaga los problemas mencionados anteriormente.

Por ello, el eje rector de esta investigación es proponer un diseño de una bicicleta plegable mediante elementos del CAD, con un mecanismo diferente para evitar la lubricación y un análisis matemático que respalda la introducción de los elementos y materiales, esto con los principios del diseño mecánico como base de sustentación.

Así, la presente investigación se desarrolla inicialmente con un marco teórico del transporte público y su problemática, la descripción de la bicicleta, sus orígenes, su impacto en el cuerpo humano, sus fuerzas y él porque una solución. Posteriormente la base teórica que sustenta la presente investigación, el diseño mecánico, el cual es la plataforma para el desarrollo de la bicicleta plegable.

## **I. Medios de transporte**

Los medios de transporte son aquellos que, en combinación de redes, vehículos y operaciones, permiten el traslado de mercancía o de personas.

El hombre desde sus orígenes ha tenido la necesidad de desplazarse de un lugar a otro para garantizar su supervivencia. Esto lo ha llevado a desarrollar sistemas que faciliten su traslado cada vez más rápido y más lejos, de una manera confortable y sobre todo segura.

Cabe destacar que el parte aguas de estos sistemas ha sido la invención de la rueda, ya que ésta se ha constituido en un importante punto de inflexión en el avance de la civilización humana. En la actualidad, las aplicaciones de la rueda en la tecnología moderna y en la vida diaria son casi infinitas. Con su invención se consiguió, al principio, un uso más eficiente de la fuerza de tracción animal en labores agrícolas y posteriormente en otras numerosas áreas. Para el control del flujo y la dirección de la fuerza la rueda, se convirtió en un sistema mecánico prácticamente insustituible.

Las ruedas más antiguas conocidas datan de hace unos 5000 a 5500 años a.C., en la antigua Mesopotamia (actual Irak). En su forma más simple consistían en un disco macizo de madera fijado a un eje. Más tarde, la rueda fue evolucionando para hacerse más ligera, eliminándose secciones del disco para reducir el peso, con este mismo propósito hace unos 2000 años a.C. comenzaron a utilizarse los radios o rayos.

Este proceso dio origen a sistemas más complejos. Se estima que los vehículos de dos ruedas aparecieron después de la invención del torno de alfarero, convirtiéndose el carro en poco tiempo en el sustituto indiscutible del trineo como medio de transporte. Junto con la rueda, el carro de dos ruedas supuso una auténtica revolución tecnológica para la época. El transporte se intensificó en



todos los ámbitos y las materias transportadas se diversificaron ampliamente, aunque el transporte de minerales tuvo un auge espectacular en la creciente industria del cobre.

El fenómeno urbano de la ciudad que comenzó a fraguarse después del año 4000 a.C., constituyó una de las formas de creación más complejas de la humanidad. La ciudad es en sí misma un sistema tecnológico, como lo demuestran los primeros símbolos que se utilizaron para representarla, consistentes en un círculo de donde partían líneas indicando los incipientes sistemas de comunicación y transporte.

El nacimiento de las ciudades dio lugar a formas de organización política y de poderes, se materializó una abundancia de riquezas materiales y excedentes de alimentos, se construyeron murallas defensivas y se profesionalizaron los ejércitos. La administración de impuestos y la acumulación de riquezas permitieron crear infraestructuras básicas tales como templos y observatorios.

Como abarca un enorme sector de la ingeniería, el transporte es una actividad que ejerce una influencia predominante en las condiciones económicas, sociales, administrativas, políticas, militares y de la seguridad de los países, constituyendo uno de los elementos esenciales de su infraestructura. Si bien se trata de una noción amplia y que abarca multitud de elementos, el transporte puede adaptarse a diversos conceptos, según el punto de vista desde el que se considere.

En su concepto mecánico, el transporte significa desplazar personas o bienes de un punto a otro del espacio, siguiendo una trayectoria determinada y bajo la acción de fuerzas exteriores. El transporte de una mercancía se mide por el trabajo que se requiere para mover una tonelada de ese producto a una distancia de un kilómetro, y la unidad a tal efecto es la ton/Km. Cuando se trata de pasajeros, la unidad es pasajeros/Km.

Para los economistas, el transporte está incluido en la infraestructura económica del país, siendo una de las medidas utilizadas para determinar su desarrollo, pues de él depende el desplazamiento de los bienes y servicios indispensables en las actividades de los distintos sectores económicos. En un país es posible lograr la especialización del trabajo, la productividad y el intercambio de actividades en el grado en que se puede transportar con rapidez y eficiencia las personas, las materias primas y los productos acabados, [1].

Los medios de transporte también se pueden clasificar de manera muy general en: aéreo (aeronaves, aeropuertos, etc.), fluvial (a través de ríos, canales, etc.), marítimo (barcos, puertos, etc.) y terrestre (automóviles, ferrocarriles, bicicletas, etc.).

El transporte terrestre en general es el más utilizado y por ello el más importante, sin embargo es el más conflictivo en las ciudades, debido a esto la presente investigación hace una especial exploración en el mismo.

### **I.1. Características generales del transporte**

Al hablar de transporte se tiene que especificar varios rubros y especialidades que existen en dicho fenómeno, por ello es imprescindible mencionar algunas de las más generales, en cuestiones tanto económicas, de demanda y sociales, que a continuación se describen:

- a) El transporte es un bien altamente cualitativo y diferenciado: existen viajes con distintos propósitos, a diferentes horas del día, por diversos medios, para variados tipos de carga. Esto implica una enorme cantidad de factores difíciles de analizar y cuantificar (por problemas de seguridad o comodidad, por ejemplo). Un servicio de transporte sin los atributos que permitan

satisfacer esta demanda diferenciada puede resultar completamente inadecuado.

- b) La demanda de transporte es “derivada”: los viajes se producen por la necesidad de llevar a cabo ciertas actividades (por ejemplo trabajo, compras, recreación) en el destino. Esto es particularmente cierto en el caso de transporte de carga.
- c) La demanda de transporte esta localizada en el espacio; para abordar este problema, el enfoque mas común consiste en dividir el área de estudio en zonas y definir una red de transporte estratégica que facilite su procesamiento mediante programas computacionales. La especialidad de la demanda suele producir problemas de coordinación que afectan el equilibrio entre oferta y demanda (ejemplo: taxis circulando vacíos en el centro de la ciudad y potenciales pasajeros esperando en otras áreas).
- d) La demanda de transporte es eminentemente dinámica y hay pocas horas disponibles para realizar las distintas actividades; desde el punto de vista de la oferta, el hecho de que el transporte sea un servicio tiene la importante consecuencia que no se puede hacer reservas (stock) para ser utilizadas en periodos de mayor demanda. Así, el servicio de transporte no se consume cuando se produce, sencillamente se pierde. Esto suele generar problemas en los periodos de punta en que hay gran demanda y desequilibrios con respecto a periodos fuera de punta con menores requerimientos.
- e) Para satisfacer la demanda de transporte y con el propósito de otorgar servicios, es necesario proveer infraestructura y disponer vehículos que funcionen de acuerdo a ciertas reglas de operario. Comúnmente, la infraestructura y los vehículos no pertenecen ni son operados por la misma compañía o institución (de hecho, hasta ahora la única excepción han sido

los ferrocarriles, pero esto no durará mucho tiempo más). Esta separación, entre proveedores de infraestructura y órdenes de servicio final, genera un complejo conjunto de interacciones entre autoridades de gobierno (central y local), empresas constructoras, operadores, viajeros y embarcadores, y público en general.

- f) La provisión de infraestructura de transporte es especialmente importante desde el punto de vista de la oferta y se caracteriza por su carácter discreto; no tiene sentido proveer media pista de aterrizaje o un tercio de una estación, si bien en algunos casos cierta gradualidad es posible (por ejemplo, pasar de camino de tierra, luego mejorar el trazado e incorporar más pistas y finalmente pavimentar). Desgraciadamente esto es mucho más difícil en el caso de aeropuertos, líneas de metro y otras obras de esta naturaleza.
- g) La construcción de la infraestructura toma largo tiempo ya que generalmente se trata de proyectos importantes que requieren de gran cantidad de recursos. No es raro que la construcción de una instalación importante tome entre 5 y 15 años desde su etapa de planificación a su completa implementación. Esto significa que los estudios conducentes a la toma de decisiones deben hacerse con extremo cuidado y procurando evitar comprometerse con planes maestros o soluciones rígidas que no pueden ser adaptadas a las condiciones cambiantes típicas de algunos países.
- h) Finalmente, la oferta de transporte tiene asociadas una variedad de efectos relacionados que pueden introducir fuertes distorsiones, tales como los accidentes, contaminación y, en general, degradación del medio ambiente. Rara vez se logra concientizar estos efectos, esto es, los usuarios de los servicios no perciben ni pagan los costos que hacen incurrir a la sociedad,

lo que probablemente conduce a tomar decisiones que podrían ser mejoradas, [2].

## **I.2. Transporte en México**

La capital mexicana es una de las ciudades más grandes del mundo que sufre día con día de congestiones de tráfico y problemas de polución bastante considerables. Debido a la caótica y descontrolada expansión así como el crecimiento que se generó en la fisonomía de la urbe, en una especie de carrera local, en donde los medios de transporte tratan de alcanzar a la desbordada ciudad en su viaje sin destino por el tiempo.

Es importante destacar que los medios de transporte público de la ciudad utilizan las rutas tradicionales, que en muchos casos conservan trayectorias trazadas desde décadas atrás, incluso del siglo XIX que fueron modificándose, en torno de las nuevas rutas implementadas.

El sector transporte en México ocupa un lugar relevante en el consumo de los productos petrolíferos, para el caso de la gasolina su participación es de 93.9% y del diesel de 67%. Es de fundamental atención realizar acciones sobre este sector para disminuir las tasas de crecimiento que se han incrementado de manera importante los últimos años.

Entre las medidas más relevantes que se indican como las más probables en un nivel mundial y a lo largo de los próximos años que tendrán un impacto en el consumo de combustible en virtud de mejorar la eficiencia energética son:

- La mejora en el rendimiento de combustible a través de cambios tecnológicos en los nuevos vehículos especialmente los ligeros. Estos cambios sucederán con las mejoras en las tecnologías convencionales,

pero también debido a la implementación de nuevos sistemas de propulsión basados en tecnologías avanzadas (vehículo híbrido-eléctrico, celdas de combustible, etc.). Se incorporarán medidas para promover las tecnologías más eficientes, como son: inducir al consumidor a decisiones sobre compra de vehículos, basadas en eficiencia energética, incentivos en precios de vehículos y combustibles, impuestos, etc.

- La mejora en la eficiencia sobre el desplazamiento del vehículo que incluye el mantenimiento, el entrenamiento de los conductores, las tecnologías abordado para el manejo, la regulación de los límites de velocidad, la capacidad vial, el flujo vehicular y programas de renovación vehicular.
- La reducción de viajes de vehículos ligeros a través del mejoramiento de sistemas de tránsito, de mecanismos de cobro por viaje, de medidas relacionadas al estacionamiento o parqueo de los vehículos, al pago de impuestos directos durante la carga de combustible en las estaciones de servicio, etc.
- El uso de combustibles alternos será muy relevante para la disminución del uso de combustible, como son: el gas natural licuado y comprimido, el metanol, el etanol, el hidrógeno, el dimeti-éter (a partir de gas natural), gasolina, diesel a partir de la síntesis y compuestos simples (por ejemplo gas natural).
- Para el caso del movimiento de carga en superficie y carreteras, se considera el uso de combustibles alternos y la mejora en la eficiencia de los camiones y tractocamiones (motor, aerodinámica, llantas, etc.), así como en los sistemas de operación (mantenimiento, conducción, logística de viajes, etc.) de las flotas. Particularmente importante, se efectuará paulatinamente la transferencia de carga del vehículo automotor (tractocamión y camión) al ferrocarril y a través de transporte fluvial.

- Para el caso de nuestro país, corresponderá a la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, detonar las actividades relevantes sobre el ahorro de combustibles del transporte, y de las cuales, las más importantes se pueden agrupar en cinco líneas estratégicas que son: automóvil, autotransporte de carga y de pasajeros, transporte urbano y suburbano, flota del sector público y transporte multimodal.

### **I.2.1. Automóvil**

La selección y operación adecuada de un automóvil está directamente relacionada con el consumo de combustible y emisiones contaminantes por lo que se contempla que la difusión a través de medios electrónicos e impresos jugará un lugar muy importante para la promoción de recomendaciones y el impulso de las herramientas desarrolladas por la CONAE que tengan la finalidad de satisfacer estas necesidades del automovilista.

El fomento del uso eficiente del combustible en el automóvil requerirá de herramientas amigables que permitan a los automovilistas a través de: Internet, medios convencionales tales como videos y guías impresas, así como aplicaciones multimedia, mejora de operación y mantenimiento de sus unidades.

El desarrollo de la guía anual de economía de combustible y otras informaciones, surgidas como consecuencia del convenio de concertación entre la industria automotriz y el sector público, será necesaria para promover una cultura entre los automovilistas que les permita realizar una selección vehicular desde un punto de vista energético y así mejorar su economía familiar.

Como refuerzo a lo anterior es indispensable el desarrollo de talleres y cursos enfocados a la conducción técnico-económica en centros de educación media

superior y al mismo tiempo buscar que sea requisito para expedición de licencia de conducir aprobar este tipo de curso.

Se requiere la evaluación de productos que se ofrecen comercialmente para ahorrar combustible con la finalidad de informar a los automovilistas del desempeño y posibles efectos sobre el vehículo.

Para los años siguientes se requerirá la implementación de tecnologías y combustibles alternos, será necesario continuar con la trayectoria que tiene la CONAE en el desarrollo de seminarios internacionales con la finalidad de conocer la experiencia de otros países, beneficios y su posible aplicación en México a través de convenios de colaboración.

### **I.2.2. Autotransporte de carga y de pasajeros**

Algunos de los aspectos más importantes por realizar en las empresas de autotransporte será el desarrollo de herramientas que les permitan reducir significativamente su consumo de combustible, en este sentido se desarrollarán metodologías en los siguientes temas: mejoramiento del mantenimiento, conducción técnica económica, selección de vehículos y gestión de combustible. Estas metodologías son programas (software) desarrollados para que los encargados de las empresas los apliquen directamente en sus respectivas organizaciones.

Otro aspecto es el de la capacitación de las personas involucradas en el transporte en los diferentes niveles a través de talleres sobre temas relacionados al ahorro de combustible, diplomados sobre gestión de empresas de autotransporte, cursos de conducción técnica económica para los operadores de los vehículos; en estos últimos se deben aplicar las técnicas de capacitación más



actuales y aprovechar las oportunidades de las tecnologías venideras (sistemas interactivos, CD's, videos, etc.).

Las campañas de ahorro de combustible y de casos exitosos a través de diferentes medios permitirán llevar las recomendaciones que CONAE ha desarrollado y aplicado en algunas empresas de transporte, para que otros empresarios puedan aplicarlas y reducir de esta manera sus costos de operación.

La asistencia técnica será una actividad fundamental para que CONAE pueda apoyar la solución de la problemática que viven las empresas de transporte y sugerir la aplicación de proyectos y programas enfocados hacia la reducción del consumo de combustible y los beneficios colaterales que esto lleva como son: reducción de costos de mantenimiento, mayor duración de las unidades, de las llantas, etc.

La conjugación de programas de ahorro de combustible con programas de seguridad en carreteras es un binomio que puede ser importante para reducir simultáneamente el número de accidentes en carreteras federales y el consumo de combustible.

### **I.2.3. Transporte urbano y suburbano público de pasajeros**

El transporte urbano y suburbano público de pasajeros representa aproximadamente el 3% del parque vehicular nacional pero, por su intensidad de uso, se considera un importante consumidor de energía, cada unidad consume de 10 a 15 veces lo que un automovilista particular, es por ello necesario implementar acciones conjuntas con las autoridades respectivas sobre los diferentes aspectos que involucran su operación para reducir su consumo de combustible y hacerlo mas seguro, confiable y rentable. Estas acciones se llevarán al cabo en los ámbitos de tránsito, vialidad, normatividad, tecnología y capacitación.

Por la problemática inherente a su consolidación actual y por sus intensos recorridos diarios, el transporte urbano y suburbano público de pasajeros requiere de una capacitación y asistencia técnica continua a sus prestadores de servicio que permita un mejor aprovechamiento del combustible utilizado. Por ello, se contempla evaluar tecnologías que propicien el ahorro de combustible y la promoción de combustibles alternos y de vehículos para el transporte, como es el caso del gas natural, etanol, celdas de combustible, híbridos, etc.

Por otro lado el tránsito y la vialidad constituyen elementos de suma importancia en el ámbito urbano, por lo que la elaboración de propuestas que mejoren su grado de operatividad redundará en incrementos de los niveles de movilidad y en un uso más eficiente de la energía.

Otra forma eficaz de reducir el consumo de energía en el transporte es la aplicación de los sistemas de transporte inteligente debido a que permiten una mayor planeación de rutas y una mejor operación del transporte. También pueden contribuir a una señalización adecuada que evite gastos innecesarios por operación del motor del vehículo en vacío como sucede en los cruces conflictivos y tránsitos detenidos.

### **I.3. El transporte público urbano en la Ciudad de México**

Para la gran parte de la población en las ciudades, la manera más práctica para trasladarse a través de la ciudad para sus distintas actividades que la comprenden (empleos, escuela, lugares públicos, etc.), es mediante el transporte público urbano, esencialmente cuando las distancias entre un lugar y otro son de consideración como para caminar, así es como se derivan diversos tipos de transportes para diferentes necesidades.

Por ello, en la Ciudad de México surgen diferentes tipos de vehículos para satisfacer la demanda de transporte público urbano, los cuales se describen a continuación.

### **I.3.1. Taxis**

Por lo económico este medio de transporte es bastante popular en México. En varias ciudades el precio del viaje se negocia con el conductor antes de partir, por lo cual siempre es bueno preguntar "cuanto me sale ir a...". No obstante en las ciudades grandes se ha ido implementando el sistema de taxímetros, como es el caso de la ciudad de México y Monterrey.

Actualmente los asaltos y secuestros en taxis se han hecho comunes, sobretodo en la ciudad de México. Procurar tomar taxis de hoteles o bien de "sitios de taxis" suele ser la mejor opción.

### **I.3.2. Buses urbanos (microbuses)**

Los microbuses o *camiones* como se les conoce son el medio de transporte más popular en las ciudades. Estos poseen números y una clasificación de acuerdo al recorrido que efectúan. El precio del pasaje es bastante bajo en comparación a otros países de Latinoamérica y aunque no son muy cómodos es un medio efectivo de transporte cuando no se dispone de mucho capital.

### **I.3.3. Colectivos, combis o peseros**

Sólo en algunas ciudades existe este tipo de transporte. Es como en el caso de la ciudad de Tijuana y sus llamados "taxis de ruta", que son vehículos grandes con gran capacidad de pasajeros que realiza una ruta fija al igual que los buses urbanos.

Además, en algunas partes existen las *combis* o peseros, vehículos utilitarios que transporta alrededor de diez a doce personas a través de una ruta predeterminada.

### **I.3.4. Buses interurbanos**

México tiene una buena red interurbana de caminos y buses. Los cuales salen a diferentes horarios y van a casi todos lados. Además se puede elegir entre diferentes clases, de acuerdo a sus necesidades y presupuestos. Los más lujosos cuentan con amplios asientos reclinables (en cama), aire acondicionado o calefacción, televisión / video, servicio de botanas y refrigerios incluidos en el precio, además de baño y teléfono.

Los autobuses, como se les conoce en México, se toman en la Central Camionera de cada ciudad. En ciudades como la de México existen varias centrales dependiendo del destino. Si el viaje que se piensa realizar es de pocas horas, se puede adquirir pasaje o boleto en la misma central minutos antes a que salga el bus. Pero en caso de viajes más largos, es recomendable adquirir el pasaje con al menos un día de anticipación. Existen en las ciudades oficinas de las compañías de buses en dónde se pueden adquirir boletos.

### **I.3.5. Metro**

La Ciudad de México cuenta con este tipo de transporte. Existen once líneas, capaces de llevarlo a un gran número de destinos. En metro se puede ir desde el Zócalo de la Ciudad de México hasta el mismo aeropuerto. No obstante es de cuidado, son comunes los asaltos y el robo de carteras, además que en las horas pico la aglomeración de gente es grande y a los ladrones se les facilita la acción.

En Guadalajara, existe una especie de metro llamado Tren Ligero (se diferencia debido a que la energía va por cables ubicados arriba de los vagones). Este posee dos líneas, es bastante cómodo y seguro, aunque no muy turístico.

### **I.3.6. Metrobús**

El Metrobús es un sistema de transporte, basado en autobuses de alta tecnología, que brinda movilidad urbana por medio de la integración de una infraestructura preferente, es decir mediante un carril confinado y a su vez estaciones confinadas para este transporte.

Es un modo de transporte flexible que combina estaciones, vehículos, servicios, corredores y un sistema integral, que actualmente cuenta con dos líneas o rutas y está en crecimiento, [27].

## **I.4. El problema del transporte urbano**

La sociedad parece haber tomado conciencia de que los problemas de transporte, en general, no solo se han hecho más comunes sino que han tomado mayor severidad que nunca, tanto en países industrializados como en países en desarrollo. Por ejemplo, en los últimos años el aumento de tráfico vial y de la

demanda de transporte en general, ha traído como consecuencia incrementos en la congestión, demoras, accidentes y problemas ambientales bastante mayores que lo considerado aceptable hasta la fecha, particularmente en las grandes ciudades.

Desafortunadamente no es probable que estos problemas desaparezcan mágicamente en el futuro, por ello, es vital que no se cometan (en países en desarrollo) los mismos errores ya cometidos en los países industrializados, procurando atacar y resolver estos problemas de forma creadora e inteligente, [2].

La invasión del espacio urbano por parte del vehículo privado es un hecho evidente. Esta invasión se manifiesta no sólo en la ocupación de todo el espacio vial por parte de los vehículos, sino también el deterioro de la salud de las personas, por aumento de la contaminación y del despilfarro energético.

Sin duda alguna las emisiones de los motores de combustión interna de los automóviles son la principal fuente de contaminación atmosférica en las ciudades y contribuyen de forma importante al efecto invernadero.

En la actualidad hay aproximadamente 750 millones de vehículos con combustión interna en todo el mundo y su número no cesará de crecer en las próximas décadas con lo cual empeorará, aún más, la contaminación urbana.

Hoy en día, se reconoce que las medidas que puedan contribuir a cambiar esta situación deben basarse en el desarrollo preferente de los medios de transporte considerados más benignos, reservando espacio urbano de forma prioritaria a carriles bus, ciclovías, peatonalización de calles, etc. así como la necesidad por desarrollar vehículos, que sin dejar de satisfacer la demanda de transporte público o particular, permita abatir los altos índices de contaminación, al tiempo que también se ha de poner fin al uso urbano del automóvil privado o de combustión interna, [3].

### **I.4.1. La situación en México**

La explosión demográfica acarrea problemas a cualquier tipo de ciudad, como en el caso de la Ciudad de México, debido al gran número de población surgen con ella una gran demanda de bienes y servicios, producen con una debida planeación buenos resultados desde el punto de vista de la satisfacción de la población, pero si por el contrario, si esta planeación no va al parejo de la demanda se suscitan problemas de diversas índoles.

Es importante mencionar que los problemas generados por un inevitable exceso de población, repercuten directamente en el transporte, problema que se presenta en todo el mundo.

Las innumerables fallas que se presentan, se deben principalmente a una mala planeación en las vialidades, a que la urbanización de las calles no fue muy bien pensada, provocando que los espacios sean insuficientes para el número de vehículos que transitan por las vialidades.

Exceso de vehículos circulando en horas pico, baja calidad en el servicio de transporte público a veces insuficiente, mala educación de los usuarios y conductores, ciertas rutas de servicio público inconvenientes o poco útiles para personas que necesitan desplazarse a puntos específicos, sobre cupo en las unidades de servicio, condiciones de higiene y mantenimiento muy por debajo de lo requerido, inadecuada capacitación de los operarios, son sólo algunos de los aspectos negativos en el transporte.

Debido a dichos argumentos, la población no considera el transporte público como una opción conveniente para el traslado de un lugar a otro, ocasionando que prefieran viajar en un vehículo propio la mayoría de las veces, sin ningún acompañante, esto se refleja en un gran número de vehículos circulando con poca cantidad de población en ellos, por vialidades muy saturadas no diseñadas con la cantidad suficiente de carriles para tanto vehículo. Todo esto aunado a la

contaminación que se genera por la combustión, crea no solo un problema de vialidad sino un severo conflicto para el medio ambiente.

Sin duda la creación de nuevas vialidades podrá resolver el problema inmediato pero a futuro se necesitarán nuevas medidas, haciendo de esto un círculo que cada vez será más difícil de corregir, es decir no existirá proyecto capaz de resolver los problemas futuros en materia de vialidad, sin mencionar que no se hace nada por el medio ambiente.

Muchas instituciones así como gobiernos, se han dado a la tarea de resolver este conflicto, tanto de vialidad como ambiental, haciendo campañas con el fin de promover no usar tantos vehículos, que las personas viajen en menor número de vehículos, darles preferencias a vehículos que ocupen más pasajeros, así como introduciendo nuevas tecnologías como son: autos cada vez mas pequeños, eléctricos o con combustibles alternativos a fin de hacerlos menos nocivos para el medio ambiente, asimismo estas campañas promueven también el caminar al trabajo o el uso de la bicicleta, que a su vez ayuda a tener una vida más sana, son por mencionar algunas de las soluciones ya propuestas.

Algunos gobiernos promueven el uso de la bicicleta, apoyados con diversas acciones como ciclovías, accesos, etc. Por ejemplo en la Ciudad de México se promueve el uso de la bicicleta los domingos permitiendo el ingreso de estas en los vagones del metro de la Ciudad de México.

En la ciudad de México, diariamente se queman alrededor de 20 millones de litros de gasolina. Esta cifra da una idea de la contaminación que producen los vehículos automotores día con día, sin considerar otro tipo de emisiones como las que despiden fábricas e incluso aviones.



## I.4.2. Análisis estadístico del transporte en la Ciudad de México

Para comprender el comportamiento del transporte y sus problemáticas, se plantean factores estadísticos obtenidos del INEGI, para concebir de mejor manera los problemas con el transporte y obtener una reflexión, así como plantear datos estadísticos de soluciones.

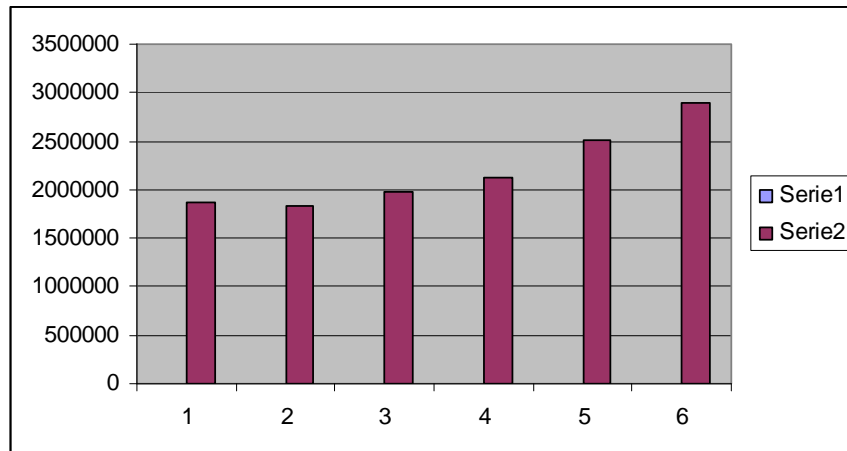
La tabla 1 muestra las estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación en el Distrito Federal por año y tipo de vehículo.

Año	Total	Automóviles	Camiones para pasajeros	Camiones y camionetas para carga	Motocicletas
1980	1,869,808	1,601,867	14,487	187,205	66,249
1981	1,996,743	1,706,435	15,047	204,248	71,013
1982	1,965,771	1,707,384	15,121	199,088	44,178
1983	1,773,140	1,542,868	13,072	180,921	36,279
1984	1,795,279	1,564,909	15,154	178,551	36,665
1985	1,833,239	1,614,986	13,617	172,224	32,412
1986	1,519,411	1,359,962	13,183	125,860	20,406
1987	1,549,203	1,388,280	13,116	131,709	16,098
1988	1,677,570	1,508,239	11,071	143,505	14,755
1989	1,711,583	1,538,193	11,026	146,614	15,750
1990	1,977,554	1,768,683	11,106	178,205	19,560
1991	1,919,557	1,727,836	10,730	160,290	20,701
1992	2,257,243	2,019,494	11,012	204,335	22,402
1993	2,566,043	2,314,499	13,394	229,334	8,816
1994	2,016,038	1,814,187	11,203	166,663	23,985
1995	2,132,325	1,919,264	11,372	171,035	30,654
1996	2,067,206	1,865,359	11,328	157,003	33,516
1997	2,100,283	1,896,403	11,349	157,914	34,617
1998	2,541,957	2,304,627	11,934	174,088	51,308
1999	2,631,169	2,386,039	12,141	177,597	55,392
2000	2,511,543	2,308,255	11,611	136,321	55,356
2001	2,407,362	2,233,666	13,259	104,639	55,798

2002	2,321,702	2,162,180	17,374	80,320	61,828
2003	2,260,123	2,093,708	24,705	61,652	80,058
2004	2,556,032	2,384,533	27,175	62,087	82,237
2005	2,890,714	2,699,384	29,917	74,974	86,439

**Tabla 1.** Vehículos por año, [28].

Si se comparan los valores de la tabla 1 y se realiza una gráfica en relación a cada cinco años se visualiza el comportamiento de este fenómeno, ya que año con año solo se observan pequeñas variaciones, gráfica 1:



**Gráfica 1.** Relación de vehículos registrados cada 5 años.

Se observa que pese a las ligeras variaciones anuales en la adquisición de vehículos para transportarse debido a diversas situaciones económicas, la tendencia de la cifra es subir al pasar de los años, todo esto en relación, en parte, al crecimiento demográfico en la población, es decir al haber más habitantes será cada vez mayor la demanda de transporte.

Cabe señalar que estas cifras de los vehículos anteriores con los nuevos, es el gran número de unidades que circulan por la Ciudad de México, de esta manera se comprende el grave problema que estos generan en materia de tránsito, sin dejar de mencionar sus consecuencias.

Por lo mencionado anteriormente, es perceptible, que no es una solución fácil y que por tal se deben también analizar datos en diversos sectores, como los que se observan en la tabla 2, que hace énfasis de estadísticas de accidentes provocados, en parte, por el gran número de vehículos.

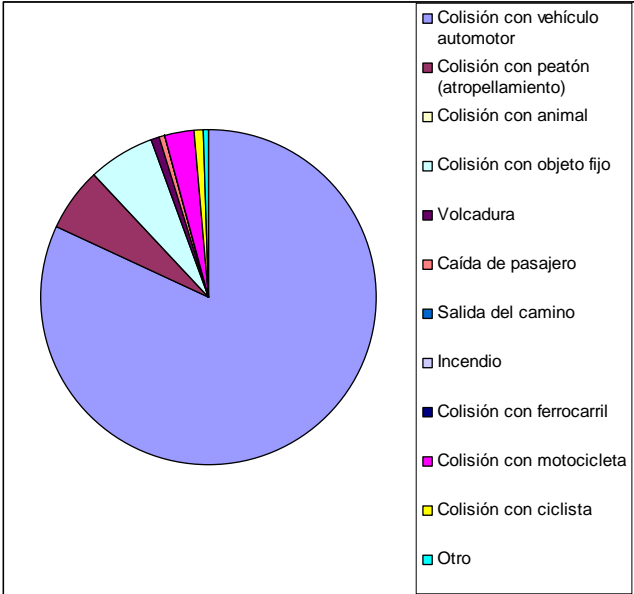
Total de accidentes de tránsito por tipo de accidente y tipo de vehículo:

	Total
Totales	15,525
Colisión con vehículo automotor	12,713
Colisión con peatón (atropellamiento)	949
Colisión con animal	3
Colisión con objeto fijo	1,015
Volcadura	121
Caída de pasajero	56
Salida del camino	22
Incendio	2
Colisión con ferrocarril	2
Colisión con motocicleta	413
Colisión con ciclista	150
Otro	79

**Tabla 2.** Accidentes de tránsito, [29].

En la tabla 2, se encuentran los accidentes de tránsito terrestre en el año 2005, en zonas urbanas y suburbanas en el Distrito Federal que sufren los automovilistas, con automóviles, personas, animales, objetos fijos, etc. y situaciones en las que están inmersos.

A continuación se representan los datos anteriores en la gráfica 2.



**Gráfica 2.** Accidentes de tránsito.

Los datos arrojados por la gráfica son: el 81% con vehículo automotor, 6% con peatón (atropellamiento), 7% colisión con objeto fijo, 1% volcadura, menos del 1% caída del pasajero, 3% con motocicleta, 1% con ciclista y 1% otro.

Se deduce que no es comparable el número de accidentes con automóvil con otro automóvil, en otros términos, es demasiada la diferencia de accidentes que hay entre automovilistas que con cualquier otro elemento.

Si se plantea una situación donde creciera el número de peatones, ciclistas, motocicletas u otro por las calles no competirían con la diferencia de accidentes comparado con los mismos automóviles, de aquí posibles soluciones que puedan darse, alternativas o propuestas, como un medio de transporte alternativo no representan un peligro considerable para personas y automovilistas, sino que el mayor problema de accidentes para un automóvil seguirá siendo un automóvil.

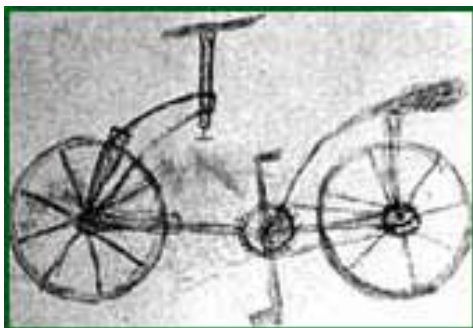
Así, la alternativa puede tomarse con sus respectivas acciones y planeaciones para una solución a los problemas de tránsito, contaminación, etc. Sin representar un severo problema o conflicto en relación a los accidentes.

### **I.5. La bicicleta**

La bicicleta es un vehículo que consta de dos ruedas alineadas fijas a un cuadro, se dirige mediante un manillar y es impulsada por una combinación de pedales y engranajes movidos por los pies. El nombre del vehículo moderno data de 1869. Varios antecedentes de esta máquina se conocieron como velocípedos, a partir de un nombre francés que data del siglo XVIII, [30].

Los testimonios más antiguos sobre este, hoy popular, vehículo se remontan hasta las antiguas civilizaciones de Egipto, China e India.

En un apartado de la obra "Codez Atlanticus" de Leonardo da Vinci ya aparecía un dibujo de una bicicleta, figura 1. Leonardo pensó en una transmisión de cadena como en las que se utilizan en la actualidad. Estos dibujos fueron dispersados por el tiempo y quedaron recopilados sin orden ni concierto en la biblioteca Ambrosiana de Milán.



**Figura 1.** Boceto de Leonardo da Vinci hacia 1490, [31].

Vehículos toscos de dos ruedas propulsados por los pies eran corrientes en los primeros años de la segunda mitad del siglo XVII. En 1690, un francés, el Conde Mede de Sivrac inventó "el celífero" ("la célérifère"), que consistía en un bastidor de madera al que se añadían las ruedas. El vehículo no tenía manillar; el asiento era una almohadilla en el bastidor y se propulsaba y dirigía impulsando los pies contra el suelo.

En 1816, un noble alemán diseñó el primer vehículo de dos ruedas con dispositivo de dirección. Esta máquina, denominada draisiana (en honor a su inventor), tenía un manillar que pivotaba sobre el cuadro, permitiendo el giro de la rueda delantera. Después, inventores franceses, alemanes y británicos introdujeron mejoras. En Inglaterra, estos primeros modelos se conocieron como balancines; el nombre de "dandy horse" quedó para el vehículo inventado en 1818, figura 2. El balancín era más ligero que la draisiana y tenía un asiento ajustable y un apoyo para el codo. Fue patentado en Estados Unidos en 1819, pero suscitó poco interés.



**Figura 2.** "Dandy Horse" 1817, [31].

En 1839, un herrero escocés, Kirkpatrick Macmillan, añadió las palancas de conducción y los pedales a una máquina del tipo de la draisiana, figura 3. Estas innovaciones permitieron al ciclista impulsar la máquina con los pies sin tocar el suelo. El mecanismo de impulsión consistía en pedales cortos fijados al cubo de la rueda de atrás y conectados por barras de palancas largas, que se encajaban al cuadro en la parte superior de la máquina. Las barras de conexión se unían a las palancas a casi un tercio de su longitud desde los pedales. La máquina era impulsada por el empuje de los pies hacia abajo y hacia delante. La usó para realizar un viaje de ida y vuelta hasta Glasgow de 226 km, cubriendo un tramo de 65 km a una velocidad media de 13 km/h.



**Figura 3.** Primera bicicleta a pedales Macmillan, 1839, [31].

En 1846, un modelo mejorado de esta máquina, diseñado por un escocés, tomó el nombre de dalezell, muy utilizado en Gran Bretaña.

En 1861, Ernest Michaux decidió dotar de unos pedales a la rueda delantera de una vieja draisiana. Aunque el descubrimiento fue de suma importancia, tropezó con un grave problema que durante cierto tiempo resultó infranqueable; no había forma de mantener el equilibrio con el movimiento a pedales. Ernest se dio cuenta de que la máquina de dos ruedas sería estable siempre que fuera a una velocidad suficiente; el lento aprendizaje resultó efectivo, figura 4.



**Figura 4.** Velocípedo de Michaux, 1866, [31].

Se reconoce a Michaux como el precursor directo de la bicicleta aunque se deben citar nombres como Philip Moritx o Galloux que construyeron bicicletas a pedales para uso particular. Hay referencias más antiguas halladas en jeroglíficos egipcios en los que se describe a un hombre montado sobre un aparato formado por dos ruedas unidas a un potro. El invento de Michaux, la "Michaulina" se empezó a producir en serie atrayendo la atención de las clases populares.

Este modelo se hizo muy popular en Francia. El cuadro y las ruedas se fabricaban en madera. Los neumáticos eran de hierro y los pedales estaban colocados en el



cubo de la rueda delantera o del conductor, que era un poco más alta que la rueda de atrás, figura 5.



**Figura 5.** Velocípedos (1870), [31].

En Gran Bretaña esta máquina se conoció como el 'quebrantahuesos', a causa de sus vibraciones cuando circulaba sobre carreteras pedregosas o en calles adoquinadas.

En 1869, en Gran Bretaña se introdujeron neumáticos de goma maciza montados en el acero, y el vehículo fue el primero en ser patentado con el nombre moderno de bicicleta.

En 1873, James Starley, un inventor inglés, produjo la primera máquina con casi todas las características de la famosa bicicleta común o de rueda alta. La rueda delantera de la máquina de Starley era tres veces más grande que la de atrás.

El 7 de enero de 1887, el norteamericano Thomas Stevens realiza el primer viaje en bicicleta alrededor del mundo. Partió de San Francisco y regresó a la misma ciudad después de pedalear durante más de tres años.

El 31 de mayo de 1889 nació oficialmente el ciclismo de competición; los hermanos Olivier, asociados de la fábrica de Michaux, organizaron una carrera en el parque de Saint Cloud de París con 1200 metros de recorrido en la que tomaron parte 7 ciclistas. A partir de entonces comenzó la fiebre del ciclismo.

En el aspecto técnico se investigaba a marchas forzadas para encontrar nuevas soluciones. La velocidad se convirtió en una obsesión. Las michaulinas eran demasiado lentas ya que en cada vuelta completa de los pedales recorrían 3.14 metros. Con lógica, los fabricantes aumentaron los diámetros de las ruedas delanteras llegando a construir ruedas motrices de 3 metros de diámetro. Todo ello fue en detrimento de la seguridad, del equilibrio y del peso llegando algunos modelos a pesar hasta 40 kilogramos lo que influyó para que los fabricantes homogeneizaran sus máquinas. Las descomunales ruedas delanteras se redujeron a un diámetro de 1.2 metros y las traseras a 40 centímetros.

Las modificaciones y mejoras en los años siguientes incluyeron el cojinete de bolas y el neumático. Estos inventos, junto con el uso de tubos de acero soldados y los asientos de muelles, llevaron a la bicicleta a la cumbre de su desarrollo. Sin embargo, la vibración excesiva y la inestabilidad de la bicicleta de rueda alta obligo a los inventores a esforzarse por reducir la altura de la bicicleta.

Hacia 1880 apareció la conocida máquina segura o baja. Las ruedas eran casi del mismo tamaño y los pedales, unidos a una rueda dentada a través de engranajes y una cadena de transmisión, movían la rueda de atrás.

En 1885, John Kemp Starley crea "la bicicleta de seguridad", figura 6, donde la rueda delantera es mas pequeña y gracias al uso de los rodamientos, es propulsada por una cadena, se le acopló frenos, para una mayor seguridad. Añadiéndose poco después, 1888, los neumáticos desarrollados por John Boyd Dunlop, donde en su tubo interior se rellenan de aire, amortiguando parte del golpeteo contra los caminos.



**Figura 6.** Bicicleta de seguridad, 1885, [31].

La bicicleta de seguridad se extendió rápidamente por todo el mundo industrializado. En 1896, una bicicleta podía costar el salario de 3 meses de un trabajador medio, pero ya en 1909 se había reducido a menos de un mes de trabajo. Cabe mencionar que esta bicicleta tiene una gran semejanza con la bicicleta que se conoce hoy en día.

En Francia, los hermanos Michelin crearon un neumático desmontable y en Italia, Giovanni Battista Pirelli hizo lo propio. Con el neumático y unas cuantas cámaras de recambio se podía ir a todas partes. Las bicicletas pesaban entre 18 kilogramos y 20 kilogramos.

En 1903 se disputó el primer Tour de Francia con 2428 kilómetros de recorrido ideado por Henri Desgranges. El Tour, que ha ido mejorándose con el paso de los años y se ha convertido hoy en día en banco de pruebas de sofisticadas máquinas que no superan su aprobación si no salen triunfantes de la ronda francesa, ha sido campo de experiencias y ha hecho nacer muchos prototipos.

El primer Giro de Italia (creado por Costamagna, Cougnet y Morgagni) se celebró en mayo de 1909 y, más adelante, la Primera Vuelta Ciclista a España en 1935, ideada por Juan Pujol. La principal prueba en ruta por etapas sudamericana, la Vuelta Ciclista a Colombia, no se celebró hasta 1951.

En las décadas de 1960 y 1970, la contaminación atmosférica por los gases de los automóviles incrementó el interés hacia la bicicleta, a lo que se unió la grave crisis mundial del petróleo durante varios años. En parte, a causa de estos estímulos, la popularidad de la bicicleta se incrementó enormemente. En algunas ciudades se establecieron carriles para bicicleta y rutas de ciclistas propias.

La importancia dada a la forma física en las décadas de 1970 y 1980 aumentaron su popularidad. Se generalizó la bicicleta de carreras ligera de diez velocidades, con frenos de mano y neumáticos estrechos de alta presión.

A principios de la década de los 70's se inició la moda de utilizar la bicicleta en caminos de tierra. Surgieron entonces varios grupos de ciclistas que practicaban esta nueva modalidad entre ellos los llamados "The Canyon Gang", representados por John York, Tom Slifka, Robert y Kim Kraft, que se dedicaban a realizar carreras en la montaña "Tamalpais" en el estado de California, pero las bicicletas que utilizaban eran de bici cross (con llanta muy delgada) que era muy común encontrarlas en Europa en aquella época. Fue entonces que a Joe Breeze, Charlie Kelly, Gary Fisher y Tom Ritchey se les ocurrió colocarle llantas anchas a sus viejas bicis de marca Schwinn Excelsiors que pesaban unos 18 kilogramos y así obtuvieron más control y fueron los más veloces de la montaña, figura 7.



**Figura 7.** La antigua bici de montaña de Gary Fisher, [31].

En 1976 los mismos Breeze, Kelly, Fisher y Ritchey organizaron entre una carrera de 3 millas en "Cascade Fire" cerca de la región denominada "Fairfax" en California. Llegando el año de 1977 el todavía adolescente "Breeze" montó diez cuadros de Cromoly utilizando los mismos principios de la geometría de sus bicis Schwinn Excelsior y utilizó una de estas bicis en una carrera y ganó.

Este nuevo tipo de cuadros de bicicleta inspiró a Fisher a conseguir uno igual y le pidió a Ritchey que le construyera uno para él. De ahí que estas nuevas bicicletas se les llamó bicicleta de montaña (mountain bike).

En 1974 Russ Mahon, Carter Cox y Bernie Mahon fueron los primeros ciclomontañistas en participar en una carrera con un desviador trasero (derailleurs) que fue inventado en 1958 por el francés Campagnolo para las bicicletas de ruta. Esto llamó mucho la atención al resto de los corredores y para 1975 todos los participantes de carreras ya contaban con uno. Esta bicicleta con los nuevos componentes pesaba poco más de 20 kilogramos.

El ciclista más veloz es considerado John Howard, de Estados Unidos, quien alcanzó en 1985, los 245.08 kilómetros por hora en una bicicleta diseñada especialmente, figura 8.



**Figura 8.** Bicicleta de Moser Record de la hora México 1984, [31].

En 1987 se introdujo comercialmente la primera suspensión delantera por la compañía Trek y con la guerra de tecnología y comercialización Trek también presentó en 1990 la primera bicicleta con doble suspensión con un peso similar a aquella de 1974, unos 20 kilogramos.

En la actualidad hay en el mundo unos 800 millones de bicicletas cantidad que duplica el número de coches, [31].

### **I.5.1. Elementos de la bicicleta**

La bicicleta moderna consta principalmente de: cuadro, dirección, pedales, ruedas, sillín y caja de pedales principalmente, [32].

Componentes motrices imprescindibles, como son: ejes, piñones, platos, bielas, pedalier o eje de las mismas, pedales, dirección, cadena, cambios, desviadores, frenos y mandos.

Accesorios (no menos imprescindibles dependiendo del uso y teniendo en cuenta que la bicicleta en sí es un vehículo sencillo y fácil de adaptar y reparar por el propio usuario).

Algunos de estos accesorios que prácticamente se encuentran en todas las bicicletas del mundo son, puños, cinta de manillar, portabultos, luz, guardabarros, timbre, hinchador o inflador o Bomba de inflar, guardacadena y otros también difundidos entre los países industrializados y muy comunes como: velocímetro, suspensión, avances, cierres rápidos, bolsas de transporte de diversas formas y tamaños, set de herramientas.

La siguiente, figura 9, muestra las partes de la bicicleta.

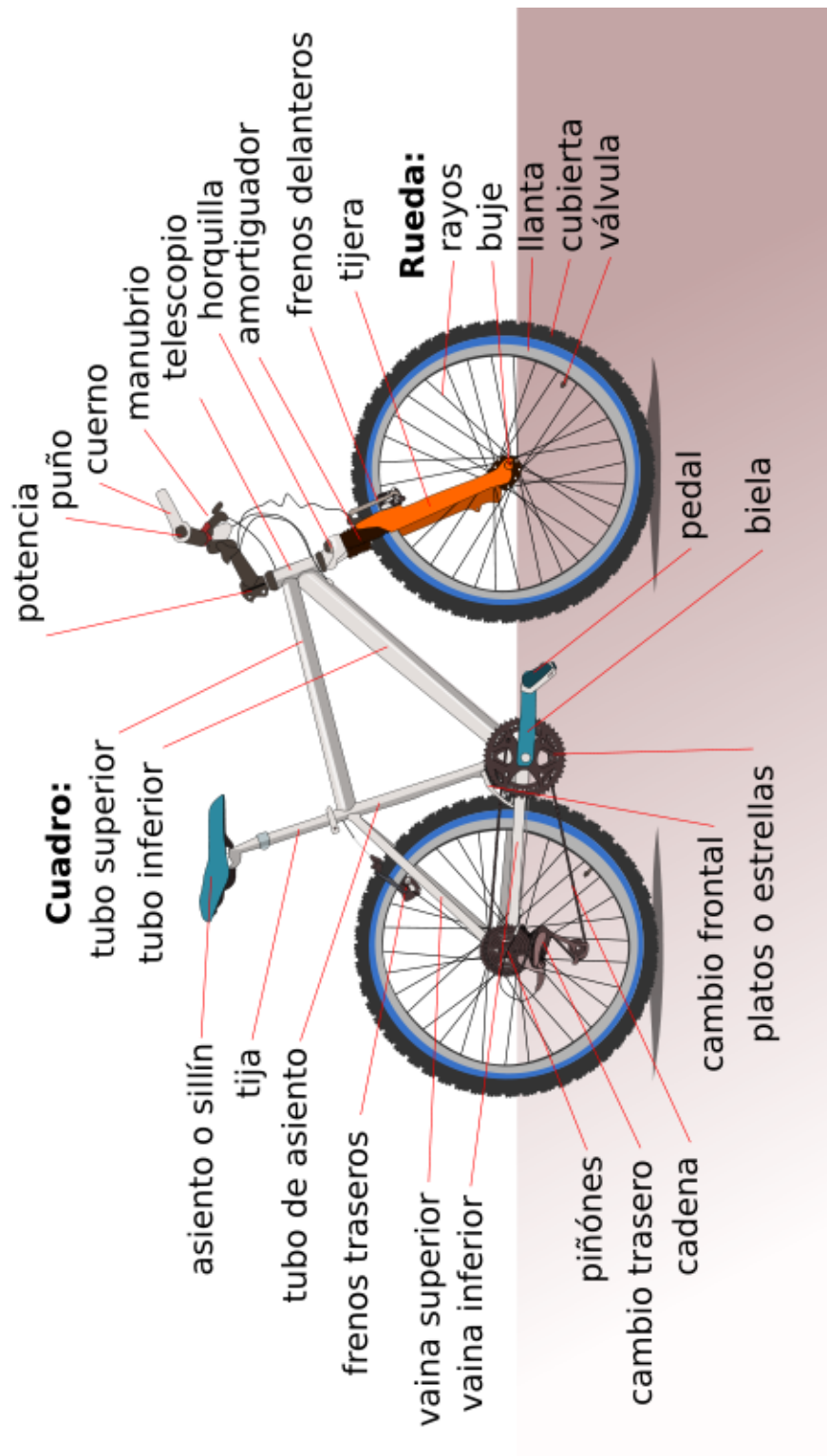


Figura 9. Partes de la bicicleta, [33].

Las partes específicas de una bicicleta la comprenden:

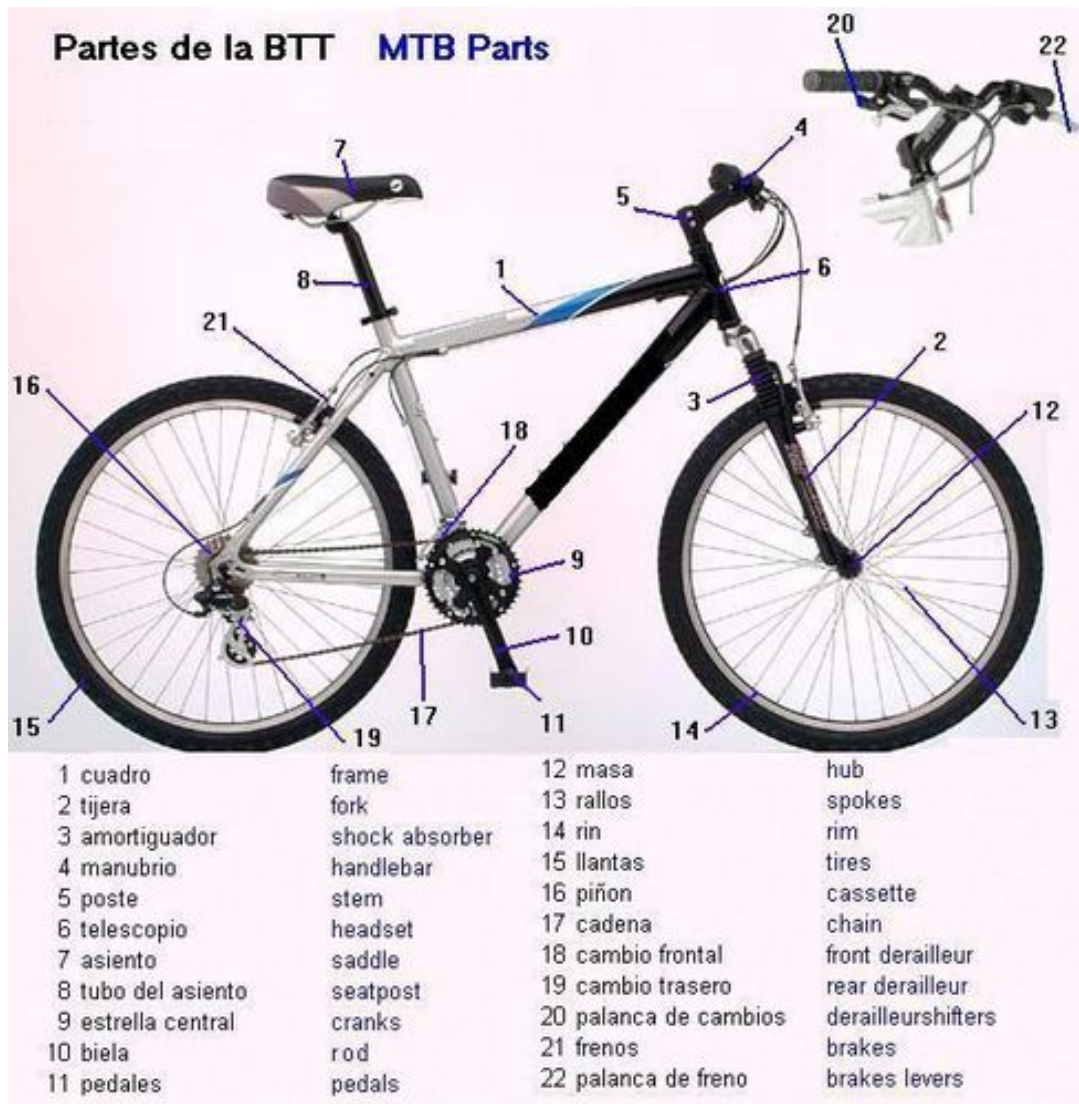
- Amortiguación delantera
- Amortiguación trasera
- Biela
- Bomba
- Cadena
- Cadena antirrobo
- Cambio delantero
- Cambio trasero
- Cuadro
- Cubierta
- Cuerno
- Dinamo
- Frenos de disco hidráulicos
- Frenos de disco
- Frenos V
- Guardabarros
- Leva
- Llanta
- Maneta
- Manillar
- Pata de cabra
- Pedal
- Radio
- Reflector
- Rin
- Sillín
- Válvula
- Zapata, [34].

Cabe mencionar que en México como en muchos otros países, pese a ser un país de habla hispana, los elementos o piezas que componen una bicicleta se les conoce por su nombre en inglés, por ejemplo al engrane mayor situado en la parte



del pedalier que se le conoce como platos o estrellas, en una refaccionaría de bicicletas, taller o tienda, se le conocen también como cranks.

Por lo anterior, es necesario también expresar sus elementos en inglés, mismos que son descritos en la figura 10, y que se muestran a continuación.



**Figura 10.** Partes en inglés, [35].

### **I.5.1.1. El cuadro**

El cuadro es el elemento fijo de la bicicleta. Se sujetan a ella todas las partes móviles y soporta y distribuye el peso del ciclista.

Biomecánicamente es la parte más importante de la bicicleta, ya que según la forma y geometría, el ciclista conseguirá aplicar mejor la fuerza muscular y consecuentemente aumentará su rendimiento.

Consta de un triángulo central formado por los tubos vertical, horizontal y oblicuo, y de un triángulo posterior formado por el dicho tubo vertical y los tirantes posteriores.

Es el elemento más rígido de la bicicleta y puede ser construido en diferentes materiales. En la actualidad, los materiales son el acero en diferentes aleaciones, el aluminio y la fibra de carbono.

Los cuadros de las bicicletas tienen además la particularidad de construirse a medida del ciclista, cosa que permite pedalear sin problemas para nuestra anatomía.

### **I.5.1.2. Los frenos**

El sistema de frenado en una bicicleta parte desde la maneta de freno, y mediante un cable hace que las zapatas actúen sobre la llanta.

Las zapatas, son la parte que actúan directamente sobre la llanta. No deben rozar con la llanta, aunque deben situarse muy próximas a ésta.

Existen distintos tipos de frenos, como los frenos de disco, los cuales son los más potentes y eficaces, pero de mayor peso y más caros. Los frenos cantilever, durante un tiempo fueron los más extendidos y estaban formados por dos levas, una a cada lado de la llanta. De cada una de estas levas sale un extremo del mismo cable que se unen entre sí en una pequeña pieza en forma de triángulo, sobre la cual entra el cable principal del freno que es activado por la maneta, de forma que las levas y sus correspondientes zapatas se sitúan paralelas a la llanta o superficie de frenado.

En los frenos V-Brake el cable principal de freno entra en una especie de puente que está formado por las levas y que une estas dos, de tal forma que al accionar la palanca de freno actuamos con las dos zapatas a la vez sobre la llanta. Este sistema hoy en día es el más extendido y su potencia de frenado es mayor que con los frenos cantilever.

### **I.5.1.3. Las ruedas**

Las ruedas están formadas por varios elementos que las conforman los cuales se presentan a continuación, figura 11.

Los bujes son la parte central de la rueda. El de la rueda trasera será más corto ya que parte de él se utiliza para albergar los piñones o cambio trasero.

Los radios son esas varillas metálicas que conectan los bujes con las llantas. Conviene que los radios estén perfectamente tensados, ya que si no la rueda puede rozar con las zapatas. Junto con los bujes son la parte que absorbe las irregularidades del terreno.

La llanta es la parte de la rueda que entra en contacto directo con las zapatas en el momento del frenado y debe estar limpia para que el frenado sea eficaz. Tiene numerosos agujeros para los radios y uno más para la válvula de la cubierta.

Dentro de las llantas van las cámaras de aire, que siempre deben ir infladas a la presión correcta.

Finalmente las cubiertas, que pueden ser de distintos tipos: lisas, para rodar por asfalto, pesan menos; para descenso, con mucho taco; para campo a traviesa, con menos taco, etc.



**Figura 11.** Ruedas.

#### **I.5.1.4 Suspensión**

La horquilla de suspensión delantera deriva directamente del motocross. Esta horquilla sirve para absorber la mayor cantidad de desniveles que tenga el terreno sobre el que estemos rodando. Esta suspensión normalmente, (aunque no siempre), está recubierta con unos trozos de plástico que evitan la entrada de suciedad. Esta amortiguación puede hacerse por aceite, aire, muelles o combinaciones de estos elementos, figura 12.

El instalar una horquilla de suspensión a nuestra bicicleta hace que ésta aumente su peso, aunque el beneficio está en que nuestros brazos están más descargados al no absorber tanto las irregularidades del terreno.

La suspensión posterior, hace más cómoda nuestra posición en la bicicleta, ya que los baches son doblemente absorbidos por la amortiguación anterior y la posterior. El sistema utilizado en la posterior es el mismo que en la anterior, [32].



**Figura 12.** Suspensión.

## **I.6. Relación cuerpo-bicicleta**

Las características que debe tener una bicicleta, para un óptimo aprovechamiento, se relacionan diversamente con la ergonomía y son necesarias en una bicicleta si se quiere tener el mejor desempeño, comodidad y evitar lesiones; a continuación se describen dos métodos que se aplican comúnmente, figura 13.

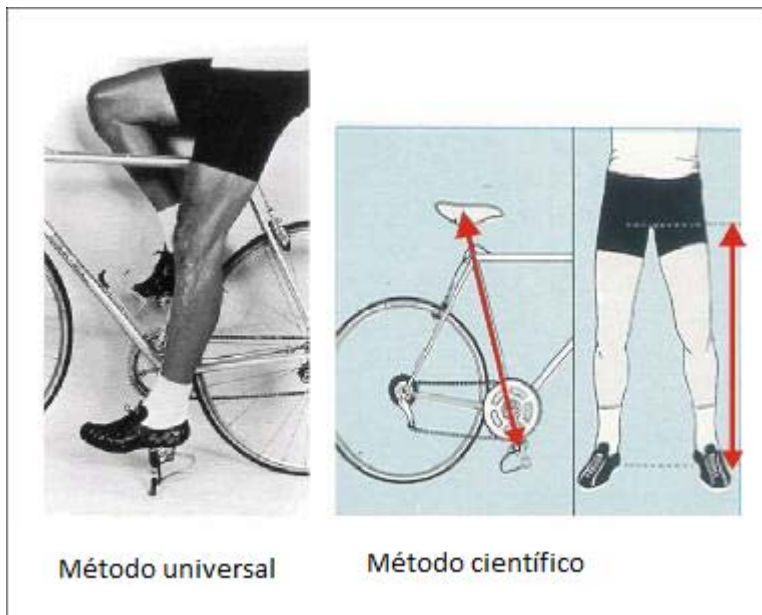
- 1) Método universal: subir el sillín hasta llegar a la altura que permita sentarse cómodamente y, con la pierna totalmente estirada, tocar con el talón del pie el pedal en su posición más baja.

La potencia se escogerá procurando que la perpendicular de la cabeza pase por el medio del manillar. El retroceso del sillín es situará de 4 centímetros a 6 centímetros de la perpendicular de la punta del sillín con el centro de la caja de pedaleo.

- 2) Método científico: medir la distancia entre el pubis y el suelo, en posición de bipedestación, con las piernas rectas y ligeramente separadas.

La distancia obtenida  $E$  nos permite calcular los siguientes datos:

- a) Medida del cuadro de carretera:  $E \times 0.65$ .
- b) Altura del sillín (desde el centro de la caja de pedaleo hasta el punto medio superior del sillín):  $E \times 0.885$ , [36].



**Figura 13.** Métodos óptimos, [36].

## **I.7. Impacto en el cuerpo humano**

El impacto del uso de la bicicleta, tiene efectos para el ser humano, por tal se presenta en este tema, un informe hecho por la referencia [37], ya que se considera la manera más práctica de exponer los efectos producidos desde una metodología científica profunda, en relación al cuerpo humano.

### **I.7.1. Primer estudio sobre salud y bicicleta**

El informe "Salud y Bicicleta" se ocupa detalladamente de los efectos positivos de ir en bicicleta sobre las articulaciones, la espalda, así como sobre el sistema circulatorio e inmunológico y representa el mayor estudio que hasta ahora se ha llevado a cabo sobre los beneficios de la bicicleta para la salud.

Montar en bicicleta fortalece el cuerpo y el alma. Este ha sido el resultado de este estudio publicado por el Centro de Salud de la Universidad Alemana del Deporte (DSHS) de la ciudad de Colonia para la empresa fabricante de sillines Selle Royal. La Universidad Alemana del Deporte es una de las más reconocidas a nivel mundial por su labor en la investigación de la medicina deportiva y estudios fisiológicos del deporte.

"Quién monta en bicicleta regularmente, se ahorra visitas al médico, medicamentos e incluso tratamientos muy costosos. Aunque no se empiece a hacer ejercicio regularmente hasta una edad avanzada, los resultados son palpables. Las personas que sufren las típicas molestias de dolor de espalda, sobrepeso y otras enfermedades cardiovasculares, podrían gozar de muchos años de buena salud, si se decidieran a usar más la bicicleta," comenta el Dr. Froböse, presidente del Centro de salud de DSHS y coordinador principal de este nuevo estudio.

El análisis de estos estudios demuestran que los problemas más comunes de salud como por ejemplo, las molestias o dolores de espalda y las irregularidades circulatorias o del corazón se pueden prevenir mediante el uso de la bicicleta.

#### **a) Mejora de las funciones del sistema circulatorio**

Una actividad equilibrada, como es ir en bicicleta, reduce el riesgo de infarto en más de un 50%. Según explica el Prof. Froböse, "el ritmo cardíaco aumenta y la presión baja, en pocas palabras: el corazón trabaja economizando. Practicando este deporte se reduce el colesterol negativo, el cual es responsable de la calcificación de los vasos sanguíneos. En cambio, la cantidad de colesterol positivo, el cual es responsable de la protección de los vasos sanguíneos, aumenta. En consecuencia los vasos sanguíneos aumentan su flexibilidad, la sedimentación de la placa aparece con menos frecuencia y disminuye el riesgo de una calcificación de las arterias.

Montar en bicicleta ayuda a prevenir los fallos cardíacos, una de las principales causas que provocan cada año 150.000 muertes.

#### **b) Prevención del dolor de espalda**

La espalda también se beneficia de ir en bicicleta. Cuando el ciclista adopta la postura óptima en el sillín con el torso ligeramente inclinado hacia delante, la musculatura de la espalda está bajo tensión y estabiliza el tronco. Los movimientos regulares de piernas fortalecen especialmente la zona lumbar y previenen la aparición de una hernia discal.

Resumiendo los datos del estudio por el Profesor Froböse "La musculatura de la espalda se fortalece gracias a este deporte y mantiene la columna vertebral protegida de vibraciones y golpes." Por último, ir en bicicleta también estimula los pequeños músculos de las vértebras dorsales, que a través de los ejercicios de gimnasia tradicional solo consiguen ser estimulados y tensados con mucho



esfuerzo. Estos beneficios hacen del ciclismo una de las actividades ideales para las personas que sufren dolor de espalda.

### **c) Protege las articulaciones**

Montar en bicicleta es muy ventajoso para las articulaciones de las rodillas ya que el 70-80% del peso del cuerpo es amortiguado por el sillín. Por ese motivo ir en bicicleta es una buena alternativa al jogging ya que las articulaciones y los cartílagos no han de soportar esa sobrecarga, según lo ha comprobado el Profesor Froböse. Los movimientos cíclicos que se realizan al pedalear representan una carga mínima para las articulaciones y garantizan una situación de sustento óptima para los cartílagos. Si las articulaciones soportan poca presión, la energía y las sustancias nutritivas pueden ser difundidas con mayor facilidad por los cartílagos.

Quienes protegen sus articulaciones montando en bicicleta regularmente, previenen con ello el riesgo de enfermar de artrosis y también se aseguran de que andar y correr no suponga un problema con el paso del tiempo.

### **d) Influencias positivas para el sistema inmunológico**

Practicar el ciclismo regularmente repercute de manera positiva en el sistema inmunológico. El cuerpo de los ciclistas desprende compuestos químicos que mejoran el estado de ánimo y hacen que se produzca una situación de bienestar. Los fagocitos, las células devoradoras de bacterias del cuerpo humano, son movilizadas de manera inmediata a través del pedaleo, para aniquilar bacterias y células cancerígenas.

Por ese motivo ir en bicicleta es empleado como terapia para enfermos de cáncer y SIDA. Pero también saca provecho de ese sencillo medio de locomoción quien quiere, por prevención, fortalecer su cuerpo contra enfermedades infecciosas.

### **e) Pequeño esfuerzo, grandes resultados**

El estudio muestra con propuestas detalladas como a una persona que habitualmente monta en bicicleta se le pueden programar ejercicios, para obtener resultados óptimos en su salud. La duración y la frecuencia de los trayectos se deben ajustar según la condición física, la edad y los resultados que se deseen conseguir, figura 14.

Sólo 10 minutos de pedaleo ya repercuten en la musculatura, el riego sanguíneo y las articulaciones. A partir de 30 minutos aparecen influencias positivas en las funciones del corazón y a partir de 50 minutos es estimulado el metabolismo graso. Los ciclistas habituales pueden intensificar notablemente esos resultados si practican este deporte con constancia durante su tiempo libre.

De esta manera una mujer de entre 45 y 60 años puede aumentar tres veces los beneficios en su sistema inmunológico, si en lugar de 20 minutos, monta en bicicleta 60 minutos al día, figura 15. El ciclismo aporta beneficios increíbles para la salud en muy poco tiempo; este fenómeno debería facilitar la decisión de desempolvar la antigua bicicleta.

**PRINCIPALES BENEFICIOS PARA LA SALUD SEGÚN GRUPO DE PERSONAS**

EDAD	SEXO	USO BENEFICIOS PRINCIPALES PARA LA SALUD	MOVILIDAD USO DIARIO 20 MIN / DIA	OCIO DEPORTIV 60 MIN / EU *
20-30		TONIFICACIÓN DIVERSIÓN, BIENESTAR		
30-45		REDUCE METABOLISMO RELAJACIÓN, ANTI-STRESS		
45-60		FORTALECE EL SISTEMA INMUNE EJERCICIO CARDIOVASCULAR		
60 +		POSTURA ANTI-EDAD		

\* UNIDAD DE ENTRENAMIENTO  = MODERADO  = BUENO  = EXCELENTE

Figura 14. Beneficios según grupo de personas, [37].

**PRINCIPALES BENEFICIOS PARA LA SALUD DE MONTAR EN BICI**

TIEMPO DE EJERCICIO	EJERCICIOS PRINCIPALES
 10 MIN	ARTICULACIONES
 20 MIN	FORTALECE EL SISTEMA INMUNE
 30 MIN	MEJORA LA FUNCIÓN CARDÍACA
 40 MIN	MAYOR CAPACIDAD Y MEJOR ESTAMINA
 50 MIN	REDUCE EL METABOLISMO
 60 MIN	DISMINUYE EL PESO CORPORAL
 > 60 MIN	ANTI-STRESS, BIENESTAR GENERAL



Figura 15. Beneficios para la salud en relación al tiempo, [37].

El autor del informe, Ingo Froböse, es Doctor en Medicina Deportiva, nacido en 1957 es Profesor de rehabilitación y prevención en el deporte en el Politécnico Alemán de Deporte (Deutsche Sporthochschule DSHS) de Colonia, y Responsable del Instituto de Salud, [37].

## **I.8. Fuerzas en la bicicleta**

La bicicleta así como el ciclismo, la utilización de la medición de potencia y el estudio del comportamiento aerodinámico del ciclista y su bicicleta asimismo, la descomposición de sus fuerzas que la generan, son un tema de mucha actualidad, para ello existen presentemente en el mercado 4 sistemas de medición de potencia que pueden ser utilizados en la ruta y simuladores que solo pueden ser utilizados bajo techo (ciclo simuladores), lo siguiente son datos obtenidos de la referencia, [38].

De la categoría bajo techo está formada por dispositivos que tienen la forma de un rodillo fijo en el que se monta la propia bicicleta y un generador electrónico de carga que es manejado por un computador de control permitiendo variar la carga (en Watts) o simular recorridos con distintas pendientes. En orden de funcionalidad creciente tenemos:

- Cateye CS1000
- TACX Excel/Grand Excel
- Computrainer

En el caso del CompuTrainer permite la conexión a un Computador Personal y cuenta con software de simulación gráfica que presenta la información en tiempo real incluyendo el análisis del pedaleo (SpinScan) y la posibilidad de utilizar recorridos simulados (ejemplo IM Hawaii).

Los 4 sistemas disponibles para la medición en campo son:

- SRM
- PowerTap
- Ergomo
- Polar Power Output

Atletas como Lance Armstrong llegan a desarrollar potencias cercanas a 400W con una cadencia de pedaleo de 100 RPM (valor que servirá de parámetro para el diseño).

Así mismo del artículo del ingeniero Jim Martin Ph.D referencia [39], en el cual se analizan diferentes tipos de ciclistas que van desde una persona que toma la bicicleta como una actividad recreacional, es decir esporádicamente, hasta un atleta elite, pasando por un entrenado y un bien entrenado, justamente en relación a ellos con una distancia de 10Km se obtiene la tabla 3.

	Elite	Bien entrenado	Entrenado	Recreacional
10km Time	35min.	40min.	48min.	60min.
POWER	264watts	231watts	192watts	154watts

**Tabla 3.** Potencia generada por tipo de persona.

La potencia mecánica se define como “la rapidez con la que se hace un trabajo” y la unidad de medida en el sistema internacional son los watts (o vatios) definidos como  $[joule/s] = [N.m/s]$ .

En la bicicleta el ciclista aplica una fuerza a los pedales que produce un movimiento de rotación de las palancas que, mediante el complejo plato-cadena-piñón, es transferido a la rueda trasera provocando el avance.

Así la potencia aplicada a las palancas es:

$$P = t \cdot w \quad \dots(1)$$

Donde:

$t$  = Momento de rotación

$w$  = Velocidad angular

$$\Rightarrow w = C \cdot 2\pi / 60 \quad \dots(2)$$

$C$  = Cadencia del pedaleo en RPM

$$\Rightarrow t = Ft \cdot r \quad \dots(3)$$

Así:

$Ft$  = Fuerza tangencial aplicada al pedal

$r$  = Largo de las palancas

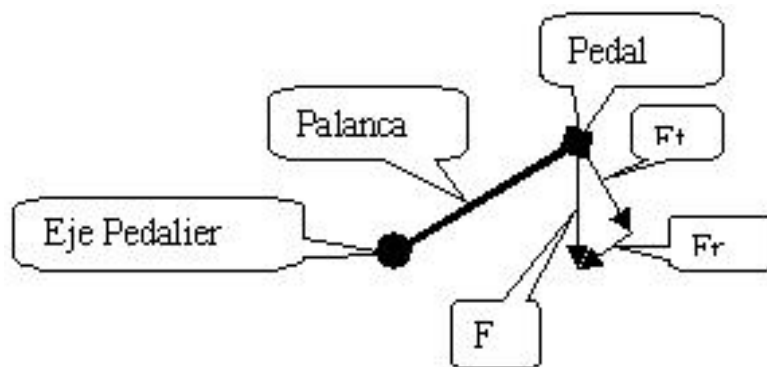
La fuerza  $F$  que el ciclista aplica al pedal, figura 16, se puede descomponer en:

- Fuerza radial ( $Fr$ ): esta componente en dirección de la palanca no produce trabajo (y por lo tanto potencia) debido a que su efecto es anulado por la caja del pedalier.

- Fuerza tangencial ( $F_t$ ): esta componente en dirección perpendicular a la palanca es la que produce trabajo (y por lo tanto potencia).

Por ejemplo si la palanca se encuentra a 30 grados de la horizontal y la fuerza en el pedal es aplicada en forma vertical podemos ver que la componente tangencial:

$F_t = F \cdot \cos 30^\circ = F \cdot 0.866$ , es decir que solo el 86,6% de la fuerza aplicada contribuye a la rotación.



**Figura 16.** Fuerzas en el pedal, [22].

Finalmente:

$$P = F_t \cdot r \cdot C \cdot \left( \frac{2\pi}{60} \right) \quad \dots(4)$$

Se observa que, una vez seleccionado el largo de las palancas, la potencia depende solamente de la cadencia y de la fuerza tangencial aplicada a los pedales.

De esta manera la fuerza aplicada al pedal para 100 RPM con palancas de 15 cm y de la tabla 1.2 para un recreacional con una potencia de 154 watts quedando:

$$P = t \cdot w$$

$$w = C \cdot 2\pi / 60 \Rightarrow w = 100RPM \cdot 2\pi / 60 = 10.47rad / seg$$

$$P = t \cdot w \Rightarrow 154watts = t \cdot 10.47rad / seg$$

$$\therefore t = \frac{154watts}{10.47rad / seg} = 14.7N.m$$

Pero:

$$t = Ft \cdot r \Rightarrow 14.7N.m = Ft \cdot 0.15m$$

$$\therefore Ft = \frac{14.7N.m}{0.15m} = 98N$$

Con un factor de conversión de  $1Kgf = 9.8067N$  se obtiene:

$$Ft = \frac{14.7N.m}{0.15m} = 98N = 9.99Kgf$$

De aquí se obtiene que la fuerza que es ejercida por un ciclista recreacional en el pedal, es de casi 10 Kgf. Si se hace el mismo ejercicio para atletas de alto rendimiento o elites, con sus 400 watts de potencia llegan a generar fuerzas cercanas a 30 Kgf en su pedaleo.



## **I.9. ¿Por qué la bicicleta como una solución?**

La solución en los transportes alternativos, a los problemas ya mencionados, no sólo se convierte en una decisión con miras a futuro, es un problema que necesita solución pronta y que necesita de toda la atención de gobernantes, así como población en general, definitivamente más que ser un problema de tiempos, de tráfico, etcéteras, hay que considerar que algo de vital importancia es considerar al medio ambiente, por tal, pensar en un transporte alternativo que no contamine es de suma importancia.

Es importante reflexionar acerca de las posibles soluciones en el mundo y en México que van desde la implementación de tecnología de punta hasta programas hechos por los gobiernos y asociaciones para combatir los problemas de transporte.

Combustibles alternativos, nuevas tecnologías para el transporte es una buena medida, tomando en cuenta que lo que se busca es trasladarse de un lado a otro cada vez en un menor tiempo, las nuevas tecnologías en transportes tienen como prioridad sustituir los derivados del petróleo y sin contaminar.

Por ejemplo tecnologías como la utilizada en autos que son impulsados con la energía que obtienen del hidrógeno mantiene una gran expectativa, ya que no sólo no contamina, el derivado del proceso químico libera al ambiente agua y además aporta al vehículo una gran energía para poder desarrollar velocidades altas, que en algunos usuarios, la búsqueda de la mayor respuesta del vehículo y velocidad lograda son las principales cualidades.

Para trayectos largos el uso de vehículos ecológicos definitivamente es una buena medida con el problema de la contaminación y trayectos largos, pero no soluciona el problema de tránsito y trayectos cortos en la ciudad, sin contar la infraestructura necesaria tanto para usuarios como organizaciones que se dediquen tanto a la

producción de estos vehículos, como la construcción de centros de abasto para la nueva implementación.

La salida en este sustituto de la gasolina representa la solución mas favorable, pero como se ha mencionado no soluciona los problemas críticos en la ciudad; las vialidades con flujo incluso en el estacionamiento de tantos vehículos, por tal el medio de transporte que deba combatir este problema deberá tener gran énfasis no sólo cualquier tipo de contaminación sino la manera de reducir espacios en las vialidades y más si se trata de trayectos cortos.

La bicicleta como un medio de transporte que no contamina, es de espacio reducido e ideal para trayectos cortos se adecua como solución a la problemática planteada.

### **I.9.1. Ventajas en bicicleta**

En 1973, Stuart Wilson escribió un artículo que se convirtió en un clásico en referencia a la eficiencia energética de la bicicleta. Con un consumo de sólo 0,15 calorías por gramo y por kilómetro, el ciclista encabeza la clasificación de eficiencia energética de todos los medios de transporte a tracción metabólica y mecánica. Por el hecho de que con la bicicleta se va tres o cuatro veces más rápido que a pie, con un esfuerzo que es sólo un tercio del que hace un peatón, difícilmente se puede excluir la bicicleta de los planes de movilidad, si éstos han de ser sostenibles en el horizonte a futuro, [41].

La bicicleta es la mejor opción para trayectos urbanos de menos de 7 kilometros y muy buen complemento del transporte público en distancias más grandes. En algunos lugares, la recuperación de antiguos trazados de ferrocarril ha permitido la creación de vías verdes ideales para hacer cicloturismo. En las ciudades, se ha avanzado mucho a la hora de dar facilidades para el uso de la bicicleta,

aumentando la red de itinerarios, creando aparcamientos y señalización específica, permitiendo el acceso de la bicicleta en el transporte público durante ciertos horarios, etc.

La bici ofrece numerosas ventajas como: ocupar poco espacio, ser económica, es el medio de transporte puerta a puerta más rápido en los recorridos por ciudad, no emite gases contaminantes, ni hace ruido, permite hacer un ejercicio físico y benéfico para la salud.

Diversas organizaciones mundiales están concientes de tal problema, países desarrollados como Francia, Alemania y la capital de la bicicleta Holanda tienen proyectos y planes de desarrollo para fomentar la bicicleta como medio loable, organizaciones como la comunidad europea promueven programas como estos.

Ante el inicio de la semana europea de la movilidad, este año con el expresivo lema “las calles para la gente”, Ecologistas en Acción quiere enfatizar la merma de calidad de vida que origina el excesivo tráfico de coches de nuestras ciudades. La principal alternativa para mejorar la habitabilidad urbana es, como demuestran múltiples experiencias, reducir el tráfico de automóviles.

El siguiente es un artículo que denota el movimiento real para promover el uso de la bicicleta:

**a) Promete la Comisión Europea fomentar uso de la bicicleta para ir a trabajar**

La campaña de este año gira en torno al lema “Reinventar la calle”, que anima a las autoridades locales a conceder aún más espacio para la circulación de los medios menos contaminantes, como la marcha a pie, la bicicleta, los transportes públicos y compartir el coche.

Bruselas.- La Comisión Europea (CE), órgano ejecutivo de la Unión Europea (UE), se comprometió hoy a fomentar el abandono del automóvil como medio de transporte para ir a trabajar, en favor de la bicicleta. Mediante este compromiso adquirido frente al gobierno de la región de Bruselas, hogar de las principales instituciones europeas, se da luz verde al proyecto “Viernes Día de la Bicicleta”, que anima a los funcionarios de la CE a acudir los viernes a trabajar en bicicleta, [40].

Estas medidas que se han tomado como buena alternativa no sólo son del cuidado del mundo particularmente en México, se han elaborado y dado énfasis a proyectos al apoyo de estas campañas, como la emitida el jueves 01 de marzo del 2007 por la secretaria del medio Ambiente, Martha Delgado Peralta presentando el programa de “Corredores de Movilidad no Motorizada Pedalea tu Ciudad” eh aquí una transcripción de las palabras de la secretaria de Medio Ambiente, Martha Delgado Peralta, durante la puesta en marcha del Programa de Corredores de Movilidad no Motorizada Pedalea tu Ciudad, en la segunda sección del Bosque Chapultepec.

Esta iniciativa surge de las organizaciones de la sociedad civil que por muchos años han estado promoviendo la movilidad no motorizada en la Ciudad de México. Para la Secretaría del Medio Ambiente este primer paso representa una acción sin precedentes para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad, para contar con espacios públicos que propicien que la gente camine, que ande en bicicleta, en cualquier lugar, en un tipo de transporte que sea no motorizado.

Así este importante programa tiene por objeto fomentar el uso de la bici como un medio de transporte viable en la ciudad, en tramos seccionados o en tramos largos, en tramos completos y también impulsar el ciclismo como una importante actividad deportiva, y para proveer los espacios de recreación para la familia y para la comunidad.

Sin duda alguna los beneficios de acciones de este tipo en una ciudad urbana, ayudan a revertir la contaminación, la congestión vial y la demanda adicional de espacios públicos y oportunidades de recreación de calidad para todos los habitantes. Es también una medida que promueve la equidad y la democratización de los espacios públicos.

Conscientes de estos problemas, la Secretaría del Medio Ambiente ha impulsado ya el Programa de Ciclovía, que alienta el uso de la bicicleta como modo de transporte alternativo, cuidando también la salud y propiciando la convivencia familiar.

Se ha empezado en este recorrido por inaugurar una ciclo-estación en donde hay renta de bicicletas para paseantes, para personas que en la zona ejecutiva de Lomas y Polanco, quieren ir a comer a otros lados de la ciudad, renten una bicicleta y regresan a sus lugares de labores.

Las ventajas de promover la utilización de estos vehículos no motorizados son muchas: se trata de un medio de transporte saludable, ecológico, eficaz, flexible, económico. La relación entre el uso de la bicicleta y los beneficios ambientales, sociales y económicos son muy claros.

Salieron publicadas en la Gaceta Oficial las reglas de uso de las ciclovías, que ofrecen una serie de medidas y criterios para proteger a los ciclistas, y regular el uso de las ciclovías en la Ciudad de México.

Existen lineamientos bajo los cuales todos los ciclistas, los peatones, incluso los automovilistas, tienen que comportarse para el uso de esta importante ciclovía. Continuando con estos esfuerzos durante este periodo administrativo, este Gobierno llevará a cabo importantes proyectos de construcción de ciclovías en diversos puntos de la ciudad, con ayuda también de los delegados políticos en diferentes demarcaciones territoriales.

Estos proyectos contemplan: desde la construcción de pequeños circuitos delegacionales, hasta circuitos interdelegacionales más extensos. De ahí que el Programa de Movilidad no Motorizada del Gobierno del Distrito Federal tiene entre sus metas las siguientes: primero la elaboración de un plan maestro de ciclovías para la Ciudad de México, la creación de infraestructura necesaria, calles de velocidad limitada y estacionamientos para bicicletas seguros, todas las políticas, programas y normas en su actualización para implementar y aprovechar cualquier oportunidad de crear un espacio más saludable para el uso de las bicicletas.

Crear, regular y gestionar leyes de tránsito para mejorar la seguridad y la comodidad de todos los usuarios de la vía, con una atención especial a las conductas que puedan causar accidentes de vehículos a motor y bicicletas.

Además se promoverán los desplazamientos intermodales entre el transporte público y las bicicletas, por ejemplo: poniendo portabicicletas en los autobuses, instalando estacionamientos para bicicletas en diferentes estaciones de transporte público, mejorando el acceso de bicicletas y bicicletas plegables en el transporte público como el Metro, el RTP o el Metrobús.

A través de la creación de parques lineales también se logrará la interconectividad en la ciudad y se promoverá del punto siete por ciento de los viajes diarios en bicicleta, al dos por ciento en tres años y se quiere esta administración con una meta de cinco por ciento de viajes en bicicleta al término de ésta.

Finalmente, se está configurando un consejo asesor, consultivo y técnico, con representantes de grupos ciudadanos y de facultades de arquitectura de las diferentes universidades, que tienen proyectos de recuperación de espacio público y movilidad no motorizada en la ciudad, para poder cumplir con los objetivos de este programa.

La conclusión del recurrente término de sostenible o sustentable, que hace referencia a las ciudades que se necesitan en el siglo XXI, con acciones de este tipo cobra viabilidad: tener una ciudad sustentable, implica también tener una movilidad sustentable y, por supuesto, promover el transporte no motorizado.

La respuesta que han tenido estas iniciativas, el sector privado, las organizaciones civiles y el Gobierno, entre todos son aliados para ir transformando poco a poco la Ciudad de México y con ella también la calidad de vida de sus habitantes, [41].

Este y otros programas son motivo de ejemplo por otras instituciones en el mundo donde están concientes de la tal solución como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA):

**b) Ciudad de México promueve el uso de la bicicleta en un proyecto que cuenta con la participación de los funcionarios**

Ciudad de México ha lanzado una iniciativa que promueve el uso de las bicicletas como medio de transporte sostenible bajo el lema 'Corredores de Movilidad no Motorizada: Pedalea tu Ciudad'. Una de las principales novedades del proyecto radica en la implicación de las autoridades, ya que tanto el alcalde del Distrito Federal, Marcelo Ebrard Casaubon, como otros altos funcionarios de su Gobierno, se desplazarán en bicicleta el primer lunes de cada mes como parte de este Programa.

Por todo ello, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha calificado de "loable" el inicio de esta campaña al tiempo que consideró muy importante que tanto los funcionarios públicos como los líderes de organizaciones privadas encabecen esta iniciativa "para que realmente sea incorporada como un elemento en la vida de la gente".

El director regional para América Latina y el Caribe del PNUMA, Ricardo Sánchez, indicó que "ha sido muy importante que el jefe de Gobierno haya sido el primero

que a las 7:30 de la mañana (hora local) del lunes haya viajado de su casa al Zócalo en bicicleta y, además, como corresponde, usando un casco, porque es imprescindible que los ciclistas usen casco para protegerse".

"Creo que es una iniciativa que demuestra la voluntad del jefe de Gobierno y de su equipo por contribuir a un México más limpio", puntualizó Sánchez, que hizo alusión a una iniciativa similar que se llevó a cabo en Colombia por parte de los funcionarios públicos.

De todos modos, el PNUMA recuerda que, para mejorar el Medio Ambiente, el uso de bicicletas tiene que estar acompañado de programas que fomenten el transporte colectivo, de la mejora de la calidad de los combustibles y de una estrategia para que los empleados vivan más cerca de sus centros de trabajo, [42].

Lo que se trata de mostrar con los artículos anteriores es sólo reafirmar que el uso de la bicicleta como solución al problema del tránsito y contaminación, es un tema ya de debate en este y muchos países, los cuales han tomado a la bicicleta como buena medida.

#### **I.10. ¿Por qué el uso de la bicicleta en la Ciudad de México?**

Lo que hace factible, o por lo menos atractivo, el realizar un cambio de esta índole para la Ciudad de México tienen que ver con características geográficas propias de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, otros con su historia relativamente reciente y otros que tienen que ver con problemas diarios en la operación de los medios de transporte existentes actualmente.

Hay que considerar que existen argumentos éticos que también hacen de un cambio de este tipo algo necesario, no sólo por cumplir con ciertos lineamientos



morales que tienen que ver con el actuar correcto, sino también porque simplemente se trata de un asunto que puede contribuir enormemente a la supervivencia a largo plazo.

Hace ya varios años en la Ciudad de México se creó el famoso programa “Hoy no Circula”, el cual tenía como objetivo disminuir el flujo vehicular que se generaba diariamente en la ciudad de lunes a viernes y así disminuir los altos índices de contaminación del aire que se generaban en ese entonces por el uso de vehículos diversos (automóviles, camiones, autobuses, etc.). Sin embargo, una consecuencia de esta medida fue el aumento significativo del parque vehicular en la Ciudad de México, de tal manera que muchos no se quedarán “sin circular” ningún día de la semana.

En cuanto al aspecto geográfico, hay dos características muy particulares de la ciudad, las cuales son determinantes en los altos índices de contaminación del aire de la ciudad: por un lado está el hecho de que la ciudad está inmersa en un valle, y por otro, el hecho de que los vientos predominantes en la zona hacen que los contaminantes del aire sean “acorralados” hacia la parte sur de la ciudad, precisamente hacia donde se encuentran las montañas más altas del valle (el Ajusco entre ellas).

Por lo anterior es que, históricamente hablando, desde que se empezaron a realizar las mediciones del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), las zonas centro y suroeste de la ciudad han reportado los niveles de contaminación más altos.

Desde el punto de vista de maximizar el placer y minimizar el dolor, o de lograr los máximos beneficios para el mayor número de personas posible y, sobretodo, el considerar la maximización de dichos beneficios no sólo al corto plazo, sino también con miras al largo plazo en la vida de la ciudad, se pueden establecer

varias cuestiones relacionadas con el uso de la bicicleta como medio de transporte.

En cuanto a los beneficios que se generan por el uso de la bicicleta, en sustitución del automóvil en distancias cortas se pueden mencionar las siguientes:

- La bicicleta no requiere de ningún combustible proveniente del petróleo, por lo que al utilizarla, se disminuye el uso de gasolinas, y por ende, la demanda de petróleo, recurso tan necesario en la elaboración de otro tipo de productos. Si consideramos que actualmente México ya tiene que importar gasolinas para satisfacer la demanda nacional, puede hacer que esta iniciativa de utilizar más la bicicleta sea bastante atractiva para implementarla a nivel nacional.
- Al tratarse de un medio de transporte que no utiliza combustibles basados en los hidrocarburos, la operación de la bicicleta no contribuye a la contaminación del aire por combustión de hidrocarburos, problema muy serio en muchas partes del país y del mundo, no sólo en la Ciudad de México.
- En términos de energía requerida para su operación, la bicicleta es mucho más eficiente que el automóvil, aproximadamente, la cantidad de calorías por pasajero-milla que requiere un automóvil es de 1,860 (considerando un sólo ocupante en el auto, lo cual es bastante común), así resulta ser el doble de lo que requiere un autobús de transporte público y 53 veces más de lo que requiere una bicicleta. Si se considera que el caminar requiere 100 calorías por pasajero-milla y que el uso de la bicicleta requiere 35 calorías por pasajero-milla, resulta que la bicicleta como medio de transporte es incluso más eficiente que el simple caminar.

- Por otro lado, comprar una bicicleta nueva resulta mucho más barato que comprar un automóvil, aunque éste sea usado; además, los costos de mantenimiento tomando como base un mismo periodo de tiempo son mucho más baratos para el caso de la bicicleta, esto sin mencionar que adicionalmente las refacciones de los automóviles requieren del uso de más recursos naturales.
- Otros beneficios que son aún más evidentes con el uso de la bicicleta son que a la vez que se utiliza la bicicleta para transportarnos, también se hace ejercicio al mismo tiempo, con el consecuente beneficio para la salud, a diferencia del automóvil.

Como posibles desventajas por el uso de la bicicleta se podrían citar las siguientes:

1. En ella no se podrían alcanzar grandes velocidades para desplazarse en la ciudad (en condiciones donde no haya tráfico), lo cual haría que los tiempos de trayecto se incrementen significativamente. Esto sería más evidente mientras más largo sea el trayecto a recorrer; sin embargo, con los niveles de tráfico vehicular que hay actualmente en la Ciudad de México, quizás estas diferencias no sean tan drásticas, sobre todo si se considera utilizar la bicicleta para trayectos relativamente cortos.
2. El acostumbrarse a utilizar la bicicleta puede presentar ciertas dificultades al principio para la gente que no tenga una adecuada condición física o que no tenga práctica andado en bicicleta.
3. Complementando el punto anterior, existe también la dificultad de que gente de edad avanzada pueda desplazarse en bicicleta.

4. A diferencia de los automóviles, existe la limitante en el caso de las bicicletas que éstas no cuentan con una cajuela que permita llevar cierto tipo de cargas (portafolios, bolsas del supermercado, etc.), aunque esto se podría resolver en parte una vez que se pongan a la venta en México unos remolques especiales para poder llevar cosas aparte e inclusive niños pequeños. Cabe aclarar que este tipo de accesorios ya existen en los Estados Unidos y su uso es bastante común.
  
5. Algo que de momento limita notablemente que la gente utilice más la bicicleta es la falta de cultura que tienen los conductores en México para brindar un mayor respeto y cuidado al peatón y al ciclista.

El nivel de responsabilidad ha aumentado en las últimas décadas y ha adquirido nuevas implicaciones, en gran parte como resultado del acelerado progreso tecnológico que ha alcanzado el ser humano (como, por ejemplo, precisamente el uso de los modernos medios de transporte). Esto, aunado con el constante aumento en la población mundial hace imperativo que el hombre tenga que estar hoy en día mucho más pendiente no sólo del tipo de acciones que realiza, sino principalmente de las consecuencias (en todos los aspectos) de sus actos a corto y principalmente a largo plazo; no se pueden pensar y evaluar acciones solamente a corto plazo, todos deben ser más conscientes de los diversos daños que como humanidad se han causado al entorno.

Bajo la consigna de lograr los mejores beneficios para las generaciones futuras y el actuar con una responsabilidad orientada al futuro a largo plazo, es necesario evaluar la factibilidad a futuro de circular con tantos vehículos en una ciudad como esta, de tal forma que el único beneficio que se obtiene es el llegar más rápido (sin necesariamente tener la prisa o necesidad de hacerlo de esta forma).

Existen otras ventajas al usar con mayor frecuencia la bicicleta para transportarse, se puede aspirar en mayor medida a vivir en una ciudad más limpia con cielos

mucho más claros y despejados, respirar un aire más puro, más limpio, mejorar la salud de una proporción importante de la población, vivir con menores niveles de estrés, contribuir a contrarrestar el efecto invernadero mundial y revertir sus efectos sobre el planeta, aprovechar recursos naturales en una forma sustentable, pero, sobretodo, dejar cada vez una mejor ciudad a las generaciones venideras.

Es un hecho que para poder realizarlo se requiere de una adecuada infraestructura (ciclovías, carriles exclusivos para bicicletas en vialidades, zonas asignadas en diversos lugares para poder estacionar nuestras bicicletas, etc.) y de cambios significativos en nuestra cultura (por ejemplo, el darle prioridad al peatón, después al ciclista y después al automovilista en nuestras vialidades), para hacer de este proyecto algo factible, [43].

Todos participan en el modelo de movilidad. Que la movilidad sea sostenible no solo depende de las instituciones, sino también de lo que hace cada persona. Tanto hombres mujeres y niños deben hacer conciencia no solo por la ciudad sino hasta por su propia salud.

## **II. Diseño mecánico**

El diseño mecánico es la base teórica que sustenta la presente investigación, por ello se comienza describiendo el diseño, sus etapas y metodologías.

Etimológicamente la palabra Diseño proviene de la palabra latina designare (designar, referente al signo, signar, señalar, señal (indicación gráfica de sentido o dirección)) representada mediante cualquier medio y sobre cualquier soporte analógico, digital, virtual en dos o más dimensiones.

Como verbo "diseñar" se refiere al proceso de creación y desarrollo para producir un nuevo objeto o medio de comunicación (máquina, producto, edificio, grafismo, etc.) para uso humano. Como sustantivo, el diseño se refiere al plan final o proposición determinada fruto del proceso de diseñar (dibujo, proyecto, maqueta, plano o descripción técnica), o (más popularmente) al resultado de poner ese plan final en práctica (la imagen o el objeto producido).

Diseñar requiere principalmente consideraciones funcionales y estéticas. Ello requiere de numerosas fases de investigación, análisis, modelado, ajustes y adaptaciones previas a la producción definitiva del objeto. Además comprende multitud de disciplinas y oficios dependiendo del objeto a diseñar y de la participación en el proceso de una o varias personas.

Por tal motivo al diseñar se tiene que realizar un proceso metodológico, estructurado, en donde de manera sistematizada se optimizan los recursos con que cuenta una organización, con el fin de transformar un conjunto de ideas y conocimientos en un sistema capaz de satisfacer una necesidad. El diseño puede ser mecánico, eléctrico, electrónico o una combinación multidisciplinaria de ellos, pero el objetivo siempre es el mismo, satisfacer una necesidad o dar solución a un problema.

Por lo tanto el diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: piezas, estructuras, mecanismos, máquinas y dispositivos e instrumentos diversos. En su mayor parte, el diseño mecánico hace uso de las matemáticas, las ciencias de los materiales y las ciencias mecánicas aplicadas a la ingeniería. Esto quiere decir que el diseño mecánico consiste en construir dispositivos que involucran fuerza y movimiento.

Es importante destacar que dichos dispositivos deben diseñarse con base en las normas y estándares vigentes, nacionales e internacionales. Debido a que son sistemas que transmiten movimiento, deben contar con rigidez, tener accesos seguros para los usuarios y un consumo mínimo de energía.

Lo anterior en cuanto a consideraciones generales, pero hoy en día, en diseño mecánico se deben considerar aspectos tan importantes como la calidad, estética e impacto ecológico, esto implica generar productos, procesos o sistemas limpios y en la medida de lo posible minimizar los desechos, así como, fomentar la reutilización de elementos una vez que cumplieron su ciclo de vida [5], [6].

## **II.1. Factores del Diseño**

A veces la resistencia de un elemento es un asunto muy importante para determinar la configuración geométrica y las dimensiones que tendrá dicho elemento. En el de diseño tradicional se consideran principalmente aspectos de rigidez, funcionalidad y costo, dentro de éste ámbito es necesario realizar un análisis completo de los elementos mecánicos críticos para determinar los materiales a utilizar, dimensiones y características superficiales.

La expresión factor de diseño significa alguna característica o consideración que influye en el diseño de un elemento o quizás en todo el sistema. Por lo general se tienen que tomar en cuenta varias de esos factores en un caso de diseño

determinado. En ocasiones alguno de estos factores será crítico y si se satisfacen sus condiciones, ya no será necesario considerar los demás. La siguiente lista no pretende indicar todas las consideraciones de diseño que se tienen que realizar en el proyecto, pero puede ser una guía útil durante el proceso.

- |                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Resistencia.           | 12. Ruido.                  |
| 2. Confiabilidad.         | 13. Estilización.           |
| 3. Condiciones térmicas.  | 14. Forma.                  |
| 4. Corrosión.             | 15. Tamaño.                 |
| 5. Desgaste.              | 16. Flexibilidad.           |
| 6. Fricción o rozamiento. | 17. Control.                |
| 7. Procesamiento.         | 18. Rigidez.                |
| 8. Utilidad.              | 19. Acabado de superficies. |
| 9. Costo.                 | 20. Lubricación.            |
| 10. Seguridad.            | 21. Mantenimiento.          |
| 11. Peso.                 | 22. Volumen.                |

Alguno de estos factores se refieren directamente a las dimensiones, al material, al procesamiento o proceso de fabricación, o bien, a la unión o ensamble de los elementos del sistema. Otros se relacionan con la configuración total del sistema. A continuación se muestran consideraciones relevantes del diseño.

### **II.1.1. Consideraciones económicas**

Las consideraciones económicas son primordiales al momento de diseñar ya que el factor de diseño de los costos, es tan importante en el proceso de decisiones para diseño, que tardaría tanto en estudiarse como en estudiar el diseño mismo. Aquí se presentarán solo algunos enfoques sencillos y reglas generales.



En primer lugar, debe notarse que no se puede decir nada absoluto en lo que respecta a los costos. El costo de los materiales y de la mano de obra se incrementa generalmente año con año, sin embargo, es de esperar que los costos de procesamiento de materiales manifiesten una tendencia a bajar debido al uso de máquinas-herramientas automatizadas. Por ello, el costo de fabricar un mismo producto varía de una ciudad a otra y de una planta a otra, debido a las diferencias que hay en gastos generales, de mano de obra, ajustes por fletes y ligeras variaciones por manufactura.

### **II.1.2. Selección de elementos comerciales**

No todos los elementos que se integran en una máquina deben diseñarse, existen empresas dedicadas a fabricar elementos “comerciales”, es decir, cuentan con piezas en tamaños estándar de rodamientos, tornillos, cadenas de rodillos, sprokets, engranes, ventiladores, baterías, circuitos electrónicos, impresoras, reductores de velocidad, motores eléctricos. Estos últimos de gran importancia en el diseño, ya que en muchas máquinas el movimiento rotativo es constante.

El diseñador debe conocer los elementos comerciales que existen en el mercado, y evaluar la posibilidad de integrarlos a su diseño; comparar los datos del fabricante como materiales, resistencia, dimensiones, peso; para realizar la selección de los mismos.

#### **II.1.2.1. Uso de tamaños estándares**

Este es un principio básico para reducir los costos. Por ejemplo si un ingeniero especifica una barra G10350\*\*\* de acero laminado en caliente y de sección cuadrada, con 2 1/8 pulg. (53.9 mm) de lado al cual suele llamarse “cuadrado laminado en caliente”, incrementaría el costo del producto siempre que hubiera

cuadrados estándares de 2 pulg. (50.8 mm) o de 2 1/4 pulg. (57.1 mm) que sirvieran también como uno de 2 1/8 pulg. debido a que cuadrados de esta última medida sólo se pueden adquirir sobre pedido especial o bien laminando o maquinando una barra especial, procedimientos que encarecerían el producto. Desde luego, en los sistemas métricos se emplean medidas en milímetros.

Para tener la seguridad de que se especifiquen tamaños estándares, el diseñador debe tener conocimiento de las listas de existencias de los materiales a emplear. Tales listas se pueden consultar en bibliotecas u otros centros de información, o bien, adquirirlos directamente con los abastecedores o proveedores.

En el diseño se especifican muchas piezas o máquinas que deben comprarse, como motores bombas, cojinetes y sujetadores, en este caso el diseñador también debe tratar de especificar elementos que se puedan conseguir fácilmente. Los elementos que se fabrican o venden en grandes cantidades tienen un costo menor, en comparación con los que tienen tamaños poco comunes.

### **II.1.2.2. Uso de amplias tolerancias**

Entre los efectos que tienen las especificaciones de diseño sobre los costos, los de las tolerancias son las más significativas. Las tolerancias en el diseño influyen de varias maneras en la rentabilidad del producto final; por ejemplo se pueden necesitar pasos adicionales en el procesamiento, los cuales provoquen que la fabricación de una pieza sea totalmente incosteable. El término tolerancia abarca tanto la variación de las dimensiones y los límites para la aspereza de las superficies, como la variación de las propiedades mecánicas producidas por tratamientos térmicos u otras operaciones de procesado.

Muchas de las piezas que tienen amplias tolerancias se pueden producir con máquinas de alto rendimiento o alto volumen de producción. Además, el costo de

la mano de obra será menor, ya que no se requiere emplear a operarios muy calificados si se desean piezas con altos grados de tolerancia. Así mismo, serán pocas las piezas de este tipo que se rechacen durante el proceso de inspección y por lo general, será mas fácil montarlas o ensamblarlas.

### **II.1.2.3. Puntos de equilibrio**

A veces sucede que cuando se compara el costo de dos o más diseños, el criterio para elegir uno dependerá de otras condiciones como volumen de producción, velocidad de las líneas de ensamble o alguna otra. De esta manera se llega a un punto donde se igualan o equilibran los costos, el cual recibe el nombre de punto de equilibrio.

### **II.1.2.4. Estimaciones de costo**

Hay muchas maneras de obtener valores relativos de los costos de modo que se puede hacer una comparación aproximada entre uno o más diseños; sin embargo en algunos casos se necesitan bastantes criterios. Una forma de comparar el costo de un diseño con el de otro sería, simplemente, contar el número de piezas, pues es probable que cueste menos el que tenga menos cantidad de partes.

Se pueden utilizar otros estimadores de costos, según se requiera en cada cotización, como área, volumen, potencia, momento o par de torsión, capacidad, velocidad y diversas relaciones o coeficientes de funcionamiento.

### **II.1.3. Consideraciones generales**

Cuando se desarrolla un diseño por lo general se consideran principalmente aspectos de funcionalidad y costo, por tal motivo es necesario realizar un análisis completo de los elementos mecánicos críticos para poder determinar, los materiales a usar, dimensiones, características superficiales y los procesos de manufactura que se utilizarán. Las consideraciones tradicionales se presentan como las siguientes:

1. Para todo el cuerpo de la parte:

- a) Resistencia.
- b) Deflexión.
- c) Peso.
- d) Tamaño y forma.

2. Para las superficies, de la parte:

- a) Desgaste.
- b) Lubricación.
- c) Corrosión.
- d) Fuerzas de fricción.
- e) Calor generado por fricción.

#### **II.1.3.1. Consideraciones modernas**

Las consideraciones modernas van mas allá que el simple uso y desuso de un producto, al hablar de consideraciones modernas, se establece un enfoque en el medio, es decir para quien va dirigido el producto, y en donde, algunas de las mismas son:

1. Seguridad.
2. Ecología (tierra, aire, agua, contaminación térmica, conservación de recursos, ruido).
3. Calidad de la vida.
4. Confiabilidad y facilidad de conservación técnica (mantenimiento). Este cada vez tiene mayor aceptación como un factor muy importante.
5. Estética, [5].

## **II.2. El Proceso del diseño**

La ingeniería de diseño se ha definido como “el proceso de aplicar diversas técnicas y principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema enormemente complejo, fácil o difícil, matemático o no matemático, y puede implicar un problema trivial o uno de gran importancia”. El diseño es un componente universal en la práctica de la ingeniería. Sin embargo, la complejidad de las cuestiones de ingeniería generalmente requiere que el estudiante disponga de un conjunto de problemas bien estructurados diseñados para aclarar uno o varios conceptos particulares que se relacionan con un tema específico.

Por tales motivos al diseñar se tiene que llevar acabo un proceso de diseño. A este se le puede considerar como una guía de las etapas por cumplir con un cierto grado de flexibilidad para la solución de problemas de ingeniería flexible. Debido a que los diseñadores emplean un gran número de combinaciones de etapas y ninguna garantiza ser la mejor, el cumplir estrictamente un proceso de diseño no asegura una solución exitosa. Pero si, un orden en las ideas y en el manejo de la información. Con base en el planteamiento anterior.

Se propone el siguiente orden de pasos del proceso de diseño y se describen a continuación en la tabla 4.

<b>Proceso de diseño</b>
1.- Identificación de la necesidad.
2.- Investigación preliminar.
3.- Planteamiento de la meta.
4.- Especificaciones de funcionamiento.
5.- Ideación e invención.
6.- Análisis.
7.- Selección.
8.- Diseño detallado.
9.- Prototipo y pruebas.
10.- Producción piloto.

**Tabla 4.** Pasos a seguir en el proceso del diseño.

### **II.2.1. Identificación de la necesidad**

Este primer paso con frecuencia suele realizarlo alguien más, jefe o un cliente “Lo que se necesita es...” En general este enunciado será breve y carente de detalles. Estará muy lejos de proporcionarle un enunciado de problema estructurado.

A veces simplemente, el diseño comienza cuando alguien se da cuenta de una necesidad y decide hacer algo al respecto. Identificar la necesidad y expresarla en determinado número de palabras, es una actividad sumamente creativa, ya que la necesidad puede manifestarse simplemente como un vago descontento, o bien, por la intuición de una dificultad o en la sensación de que algo no está bien. Por lo general las necesidades se identifican de repente a partir de una circunstancia adversa o bien de una serie de circunstancias fortuitas que surgen casi al mismo tiempo. Además, es obvio que si una persona es sensible y percibe fácilmente las cosas, entonces es más posible que identifique una necesidad siendo más probable que haga algo al respecto.

Como ya se ha indicado, generalmente la necesidad no es evidente. Una necesidad se identifica fácilmente después de que alguien la ha planteado.

## **II.2.2. Investigación preliminar**

Ésta es la fase más importante en el proceso y desafortunadamente suele desdeñarse. El término investigación, cuando se usa en este contexto, no debe evocar las visiones de científicos en bata blanca que mezclan sustancias en tubos de ensayo, ya que la investigación en este caso es de una especie más mundana, que se realiza para reunir información preliminar acerca de datos de física, química o de otros aspectos relevantes del problema.

Asimismo, es conveniente hallar si éste, o un problema similar, se han resuelto antes. No se necesita “reinventar la rueda”. Con suerte ya está en el mercado la solución, y sin duda será más económico comprarla que elaborar una propia. Lo más probable es que en éste no sea el caso; sin embargo, se puede aprender mucho acerca del problema por resolver cuando se investiga la existencia del arte asociado a tecnologías y productos similares.

La información sobre patentes y las publicaciones técnicas en el área son fuentes de información y es posible tener acceso a ellas por medio de Internet. Es claro que si se halla la solución y ésta amparada por una patente aún en vigencia, se tendrá pocas opciones éticas: adquirir la solución patentada, diseñar algo que no entre en conflicto con la patente, o bien, abandonar el proyecto. Es muy importante que se dediquen la energía y el tiempo suficientes a esta fase de investigación y preparación del proceso, con el fin de evitar tropiezos al elaborar una solución grandiosa para un problema equivocado.

### **II.2.3. Planteamiento de la meta**

Una vez que se comprende el funcionamiento del área del problema como originalmente se estableció, se estará listo para expresar de nuevo ese problema en un planteamiento de meta más coherente. Esta nueva especificación del problema debe tener tres características. Ser concisa, general y no estar matizada por términos que pronostiquen una solución. Debe ser esbozada, con base a una visualización funcional, lo que significa concebir su función, más que señalar cualquier incorporación particular.

El planteamiento de la meta debe abarcar también todas las condiciones para el objeto que se va a diseñar. Tales condiciones son las cantidades de entrada y de salida, las características y dimensiones del espacio que deberá ocupar el objeto, Y todas las limitaciones a estas cantidades. Se pueden considerar al objeto como algo colocado en una caja negra, invisible desde fuera. En este caso se tiene que determinar lo que entrará y lo que saldrá de dicha caja, así como sus características y limitaciones.

### **II.2.4. Especificaciones de funcionamiento**

Cuando se comprende el funcionamiento y la meta se establece claramente, se está listo para formular un conjunto de especificaciones de funcionamiento. Esto no es incluir especificaciones de diseño, la diferencia es que las especificaciones de funcionamiento definen lo que el sistema debe hacer, en tanto que las especificaciones de diseño definen como debe hacerse. En esta etapa del proceso de diseño no es prudente intentar la determinación de cómo se ha de planear el objetivo. Eso se deja para la fase de ideación. El propósito de las especificaciones de funcionamiento es definir y restringir cuidadosamente el problema, de modo que se pueda resolver y mostrar que se ha resuelto, después de tal hecho.



Las especificaciones definen el costo, la cantidad de piezas a fabricar, la duración esperada, el intervalo o variedad de capacidades, la temperatura de trabajo y la confiabilidad. Entre dichas condiciones sobresalen las velocidades necesarias, las intensidades de alimentación, las limitaciones de temperatura, el alcance máximo, las variaciones esperadas en las variables y las restricciones en tamaño y peso.

Existen muchas condiciones intrínsecas que dependen del ambiente particular del diseñador o de la propia naturaleza del problema. Los procesos de fabricación de que se disponen y las instalaciones de cierta planta industrial son restricciones a la libertad de acción del que diseña; por lo tanto, forman parte de las condiciones intrínsecas. Por ejemplo una fábrica pequeña tal vez no tenga maquinaria para trabajar metales en frío. Sabiendo esto, el diseñador seleccionara otro método de fabricación que se pueda aplicar en la planta. La habilidad y calificación del personal disponible y la situación competitiva son también condiciones o especificaciones inherentes.

Todo lo que limite la libertad de selección del diseñador es una condición o especificación. Por ejemplo, en los catálogos, los fabricantes listan muchos materiales y tamaños de productos, pero muchas veces no pueden surtirlos todos y frecuentemente hay escasez de alguno. Además la economía de inventario requiere que el fabricante tenga en existencia una cantidad mínima de materiales y producto a sustituir.

### **II.2.5. Ideación e invención (creatividad)**

Este paso es, potencialmente, el más satisfactorio para la mayoría de los diseñadores, pero también el más difícil. Se ha investigado mucho para explorar el fenómeno de la "creatividad". Éste es, por excelencia, una característica de los seres humanos. Se manifiesta muy en alto grado en todos los niños. La proporción y grado de desarrollo que ocurre en el humano desde el nacimiento hasta los

primeros años de vida ciertamente requiere de algo de creatividad innata. Algunos han proclamado que los métodos de educación en el mundo occidental tienden a obstruir la creatividad infantil natural al alentar la conformidad y restringir la individualidad. Por tal motivo en esta etapa se utiliza la que se llama como el proceso creativo que a continuación se explica.

### **II.2.5.1. Proceso creativo**

Se han desarrollado muchas técnicas para acentuar o inspirar la resolución creativa de problemas. Así como se han definido los procesos de diseño algo semejante ocurre para el proceso creativo. Este proceso creativo puede considerarse como un subconjunto de proceso de diseño. Los pasos del proceso creativo pueden descomponerse en cuatro subpasos, tabla 5, y se describen a continuación.

<b>El proceso creativo.</b>
1.- Generación de ideas.
2.- Frustración.
3.- Incubación.
4.- ¡Eureka!

**Tabla 5.** Subpasos del proceso creativo.

#### **II.2.5.1.1. Generación de ideas**

Ésta es la etapa más difícil. Incluso personas muy creativas tiene dificultad en la invención “sobre pedido”. Se han sugerido muchas técnicas para mejorar la producción de ideas, y la más importante es la del juicio diferido, lo que significa que el espíritu crítico de uno debe anularse temporalmente. No se trate de juzgar

la calidad de sus ideas en tal etapa. Eso se atenderá más tarde, en la fase de análisis. La meta aquí es obtener la mayor cantidad posible de diseños potenciales. Aún sugerencias, por absurdas que parezcan deben ser bienvenidas, ya que pueden hacer surgir nuevas perspectivas y proponer otras soluciones más prácticas y realistas.

#### **II.2.5.1.2. Lluvia de ideas**

Para algunos ésta es una técnica de gran éxito en la generación de soluciones creativas. En este método se necesita un grupo de personas, se trata de evitar la más grande barrera a la creatividad que es el miedo al ridículo. En un grupo la mayoría de las personas no manifestarán sus verdaderos pensamientos acerca de una materia por temor a la burla.

Las reglas de la lluvia de ideas subrayan que nadie debe reírse o despreciar las sugerencias de una persona aunque parezcan ridículas. Cada participante deberá actuar como un “escriba” y registrar y examinar todas las sugerencias, sin importar que tan inapropiadas o absurdas puedan parecer. Cuando se realiza apropiadamente esta técnica puede resultar fructífera y divertida, y algunas veces termina en un “torrente freático” de ideas que se aglomeran y apoyan entre sí. Pueden obtenerse muchísimas ideas en poco tiempo. El juicio acerca de su calidad se tratará más adelante.

Cuando se trabaja sólo se requiere usar otras técnicas. Las analogías y la inversión con frecuencia son útiles. Intentar establecer analogías entre el problema en cuestión y otros contextos físicos. Si se trata de un problema mecánico conviértalo por analogía en uno hidráulico o eléctrico. La inversión pone al revés el problema.

## II.2.6. Análisis

Una vez que se llegue a esta etapa se habrá estructurado el problema, por lo menos temporalmente, y se podrá aplicar técnicas de análisis más refinadas para examinar la realización del diseño en la fase de análisis del proceso respectivo. Se requerirá mayor iteración a medida que se descubran problemas a partir del análisis. La repetición de muchos pasos anteriores en el proceso del diseño, según sea necesario, debe realizarse para asegurar el éxito del diseño.

## II.2.7. Selección

Cuando el análisis técnico indica que hay algunos diseños potencialmente viables, se debe seleccionar el óptimo o mejor disponible para el diseño detallado, el prototipo y las pruebas. En el proceso de selección generalmente se incluye un análisis comparativo de las soluciones de diseño disponibles. A veces una matriz de decisión ayuda a identificar la mejor solución y obliga a considerar una variedad de factores en forma sistemática.

A continuación en la figura 17 se muestra una matriz de decisión.

	<i>Costo</i>	<i>Seguridad</i>	<i>Funcionamiento</i>	<i>Confiabilidad</i>	<i>RANGO</i>
<i>Factor de ponderación</i>	.35	.30	.15	.20	1.0
Diseño 1	3 1.05	6 1.80	4 .60	9 1.80	5.3
Diseño 2	4 1.40	2 .60	7 1.05	2 .40	3.5
Diseño 3	1 .35	9 2.70	4 .60	5 1.00	4.7
Diseño 4	9 3.15	1 .30	6 .90	7 1.40	5.8
Diseño 5	7 2.45	4 1.20	2 .30	6 1.20	5.2

**Figura 17.** Matriz de decisión.

Cada diseño ocupa un renglón en la matriz, las columnas corresponden a categorías asignadas, según las cuales han de juzgar los diseños: costo, facilidad de uso, eficiencia, funcionamiento, confiabilidad y otras que a su vez establecen un factor a cada valor.

### **II.2.8. Diseño detallado**

Este paso por lo general incluye la creación de un conjunto completo de dibujos de ensamblaje y de detalle, o de archivos de parte mediante el diseño asistido por computadora (CAD), para todas y cada una de las partes empleadas en el diseño. Cada dibujo de detalle debe especificar todas las dimensiones y especificaciones de material necesario para elaborar esa pieza o parte. A partir de esos dibujos (o archivos de CAD) debe construirse un modelo prototipo de prueba (o varios modelos) para someterlo a pruebas físicas. Es muy probable que las pruebas revelen más defectos y se requiera, por lo tanto de más iteración.

### **II.2.9. Prototipos y pruebas**

El prototipo es un modelo o versión inicial de un producto, previsto para probar y desarrollar el diseño. Antes de invertir en el equipo necesario para fabricar en serie un producto, el fabricante debe estar convencido de que el diseño es seguro y fiable. Los diseñadores e ingenieros emplean prototipos para conseguirlo.

Los prototipos pueden ser muy sencillos, con sólo unos pocos componentes. Un ejemplo sería un prototipo para averiguar la velocidad de giro de una cuchilla de una cortacésped cuando es impulsada por un motor eléctrico determinado. Lo único que haría falta sería un motor, una cuchilla y una fuente de alimentación.

A medida que el diseño avanza, los prototipos se hacen más complicados. Al aumentar gradualmente la complejidad del prototipo se pueden identificar y corregir posibles problemas del diseño.

En la última fase del proceso de diseño, los prototipos son muy parecidos al producto final. La principal diferencia es que no se fabrican con los medios de producción en serie que se emplearán en el producto final, ya que por lo general se construyen con partes de producción ideal, con la misma propiedad de material y geometría con que se tiene pensado que será en la versión de producción pero no necesariamente fabricadas con los procesos reales que se utilizaran en la manufactura, ya que dichos medios aún no existen.

El papel fundamental de un prototipo es reducir el riesgo de errores de diseño. Con los prototipos, los fabricantes pueden adquirir confianza en sus diseños y justificar la inversión necesaria para su producción en serie.

Porque finalmente, no se puede estar seguro de la corrección o viabilidad de un diseño hasta que no sea construido y probado. Esto generalmente necesita de la fabricación de un modelo físico prototipo. Un modelo matemático, aunque es muy útil, no puede ser una representación tan completa y segura de un sistema físico real como el propio modelo físico, debido a la necesidad de efectuar hipótesis simplificadoras.

Los prototipos con frecuencia son muy costosos, pero aún así son la forma más económica de probar un diseño y no tener que construir un dispositivo real, a escala natural. Los prototipos pueden tomar muchas formas, desde modelos a escala de trabajo hasta representaciones del concepto, de tamaño natural pero simplificado. Los modelos a escala introducen sus propias complicaciones respecto a la escala apropiada de los parámetros físicos.

Las pruebas que se le realizan al prototipo son de mucha importancia ya que por medio de estas se pueden eliminar peligros, costos y conflictos provenientes de

encontrar errores en el diseño después de fabricar grandes cantidades de artículos defectuosos.

Con bastante tiempo, dinero y perseverancia, el diseño estará listo para la producción. Ésta podría consistir en la manufactura de una sola versión final del diseño, pero probablemente significará hacer miles o incluso millones de versiones de un solo diseño. Aunque antes se puede implementar una producción piloto, para prevenir algunas complicaciones que pudieran surgir en la producción final.

### **II.2.10. Producción piloto**

En el paso de producción piloto, el producto se fabrica utilizando el sistema de producción pretendido. El propósito de dicha producción piloto es capacitar a la fuerza laboral y resolver cualquier problema que persistan en los procesos de producción. Los productos elaborados durante la producción piloto en ocasiones son suministrados a clientes preferidos y evaluados de manera cuidadosa para identificar cualesquiera defectos aun existentes. La transición de la producción piloto a la producción continua por lo común es gradual. En cierto punto durante esta transición el producto es lanzado y se encuentra disponible para su distribución generalizada.

El proceso de diseño se usa ampliamente en ingeniería. Esta disciplina por lo general se define en función de lo que se hace un ingeniero, pero la ingeniería también puede definirse en función de cómo un ingeniero hace lo que hace. La ingeniería es tanto un método, un enfoque, un proceso o un estado mental para resolver problemas como una actividad. El enfoque de ingeniería se refiere a la minuciosidad, a la atención al detalle a la consideración de todas las posibilidades. Aunque parece que al descartar la “atención al detalle”, mientras se enaltecen las virtudes de la mente abierta, la libertad de imaginación y el pensamiento creativo, sino que también son simbióticas, [10].

### **II.3. Selección de materiales**

Actualmente está disponible una mayor variedad de materiales, cada uno con sus propias características, aplicaciones, ventajas y limitaciones. Lo siguiente ejemplos son muestra de los materiales utilizados hoy en día en el diseño y manufactura, ya sea de manera individual o en combinación como materiales compuestos.

- Metales ferrosos: aceros al carbono y aleados, acero inoxidable, y aceros para herramientas y dados.
- Metales no ferrosos: aluminio, magnesio, cobre, níquel, titanio, superaleaciones, metales refractarios, berilio, circonio, aleaciones de bajo punto de fusión y metales preciosos.
- Plásticos: termoplásticos, termoestables y elastómeros.
- Cerámicas, cerámicas vitrificadas, vidrios, grafitos, diamante y materiales parecidos al diamante.
- Materiales compuestos: plástico reforzado, matriz de metal y matriz de cerámica. Estos también se conocen como materiales de ingeniería.
- Nanomateriales, aleaciones con memoria de forma, aleaciones amorfas, superconductores y otros materiales diversos con propiedades únicas.

Conforme se van desarrollando nuevos materiales, la selección de materiales apropiados se convierte cada vez más en un reto. Las estructuras aeroespaciales y los productos deportivos han ocupado la primera línea en la aplicación de nuevos materiales. Para las estructuras de las aeronaves comerciales la tendencia es utilizar más titanio y compuestos, con una reducción gradual en el



uso de aluminio y acero. En todos los productos se observan tendencias en continuo movimiento en el uso de materiales, tendencias impulsadas principalmente por consideraciones económicas, pero también por otras consideraciones, según se requiera, [14].

### **II.3.1. Propiedades de los materiales**

Al seleccionar los materiales para los productos, primero se considera sus propiedades mecánicas: resistencia, tenacidad, ductilidad, dureza, elasticidad, fatiga y cedencia. Las relaciones resistencia a peso y rigidez a peso también son importantes, particularmente en aplicaciones aeroespaciales y automotrices. El aluminio, titanio y los plásticos reforzados, por ejemplo, tienen relaciones de este tipo más elevadas que los aceros y hierros fundidos. Las propiedades mecánicas especificadas para un producto y sus componentes deberán naturalmente ser apropiados a las condiciones bajo la cuales se espera el producto funcione.

Las propiedades físicas de los materiales: densidad, calor específico, dilatación y conductividad térmica, punto de fusión y propiedades eléctricas y magnéticas son consideraciones que se deben de tomar mucho en cuenta al momento de seleccionar un material.

Las propiedades químicas también juegan un papel significativo, tanto en entornos hostiles como normales. La oxidación, corrosión, degradación general de las propiedades toxicidad, e inflamabilidad de los materiales están entre los factores importantes que se van a considerar. En algunos desastres de aerolíneas comerciales, por ejemplo, muchas muertes han sido causadas por los humos tóxicos provenientes de materiales no metálicos en combustión dentro de la cabina de pasajeros de la aeronave.

Las propiedades de manufactura de los materiales determinan si pueden ser fundidos, formados, maquinados, soldados o sujetos a tratamiento térmico con relativa facilidad. Los métodos utilizados para procesar los materiales hasta la forma deseada pueden afectar de manera adversa las propiedades finales, vida de servicio y costo del producto, [14].

### **II.3.1.1. Costo y disponibilidad**

El costo y la disponibilidad de los materiales en bruto y procesados y de los componentes manufacturados son consideraciones de importancia en la manufactura. Los aspectos económicos de la selección de los materiales son tan importantes como las consideraciones tecnológicas de las propiedades y de las características de los mismos, tabla 5.

Si no hay disponibles materias primas procesadas o componentes manufacturados en la forma, dimensión y cantidad deseadas, se hará necesario recurrir a sustitutos y/o a procesamiento adicional y estos pueden contribuir de manera significativa al costo del producto, por ejemplo, si se necesita una barra redonda de un cierto diámetro y ésta no está disponible en forma estándar, entonces se tiene que adquirir una barra más grande y reducir su diámetro mediante algún procedimiento (quizás maquinado, estirado a través de un dado, o esmerilado).

Debe hacerse notar, sin embargo, que a menudo un diseño de producto se puede modificar para aprovechar las dimensiones estándar de la materia prima, y por tanto, evitar los costos de manufactura adicionales.

<b>Aleación</b>	<b>Capacidad de fundición</b>	<b>Capacidad de soldadura</b>	<b>Maquinabilidad</b>
Aluminio	E	A	B-E
Cobre	A-B	A	A-B
Fundición gris	E	D	B
Fundición blanca	B	MP	MP
Níquel	A	A	A
Aceros	A	E	A
Zinc	E	D	E

Nota: E, excelente; B, bueno; A, aceptable; D, difícil; MP, muy pobre.

**Tabla 5.** Características generales de manufactura de diversas aleaciones.

La confiabilidad del suministro, así como la demanda, afecta al costo. La mayor parte de los países importan numerosas materias primas esenciales para la producción. Estados Unidos, por ejemplo, importa la mayor parte de los volúmenes que utiliza en cada una de las siguientes materias primas: hule natural, diamante, cobalto, titanio, cromo, aluminio y níquel. Las amplias implicaciones políticas de tener que confiar en otras naciones pudieran ser negativas.

El procesamiento de materiales según los diferentes métodos involucra diferentes costos. Algunos métodos requieren de maquinaria costosa, otros requieren de extensa mano de obra, y aun otros requieren de personal con habilidades especiales, un alto nivel de educación, o una capacitación especializada.

### **II.3.1.2. Apariencia, vida de servicio y reciclado**

La apariencia de los materiales una vez que han sido manufacturados en productos influencia su atractivo hacia el consumidor. El color, la sensación y la textura superficial son características que todos consideramos al tomar una decisión sobre la adquisición de un producto.

Son fenómenos importantes que dependen del tiempo y del servicio como el desgaste, la fatiga, el deslizamiento y la estabilidad dimensional. Esos fenómenos pueden afectar de manera significativa el desempeño de un producto y, de no ser controlados, pueden llevar a la falla total del mismo. De manera similar, es importante la compatibilidad de los materiales que se utilizan en un producto. La fricción y el desgaste, la corrosión y otros fenómenos pueden reducir la vida de un producto o hacer que falle de manera prematura. Un ejemplo es la corrosión galvánica entre partes en contacto fabricadas con metales diferentes.

El reciclado de los materiales o la eliminación apropiada de sus componentes, al final de la vida de servicio útil del producto, se ha tornado cada vez más importante, conforme nos hemos vuelto cada vez más conscientes de la necesidad de conservar los recursos y de mantener un entorno limpio y saludable. Nótese, por ejemplo, el uso de materiales de empaque biodegradables, de botellas de vidrio y latas de aluminio reciclables. El tratamiento y eliminación apropiada de los desperdicios y materiales tóxicos también es una consideración vital.

## **II.4. Herramientas modernas de diseño**

La velocidad con la que se generan nuevos conocimientos, sólo se ve opacada por la cantidad de problemas que surgen para proporcionar de bienes y servicios a una comunidad cada vez más amplia y globalizada. Por lo anterior, los

ingenieros encargados de diseñar los productos que la sociedad demanda, se ven en la necesidad de hacerse de las herramientas más eficientes y que respondan de manera rápida a ésta, tal como el diseño asistido por computadora (CAD).

#### **II.4.1           Diseño asistido por computadora CAD**

Los diseñadores en la actualidad cuentan con el apoyo de programas de cómputo que facilitan su tarea, para vaciar en papel la información necesaria para la fabricación de un elemento mecánico, se puede optar por el método tradicional de dibujo, esto es con escuadras, lápices de varias calidades, escalímetro y restirador o mesa de trabajo, o bien por un programa de cómputo que agilice el proceso, lo anterior no quiere decir que sin un programa sofisticado no se pueda diseñar, ya que de nada sirve contar con el mejor programa de cómputo si no se tiene un diseñador creativo y preparado, capaz de explotar una herramientas de esta magnitud.

En los últimos años los sistemas de CAD para el modelado de sólidos han alcanzado una fase de madurez. El diseño asistido por computadora permite a las empresas dedicadas al desarrollo de nuevos productos mejorar su competitividad, sobre la base de una mejor calidad y una reducción de costos, principalmente en el desarrollo de un nuevo producto.

La utilización de un sistema de CAD permite disponer de forma fácil de un prototipo digital de un nuevo producto, con el que se puede interaccionar y evaluar los requerimientos del diseño. En el mercado actual existen sistemas CAD para el modelado de sólidos la oferta de sistemas se ha ido estabilizando y últimamente las posiciones y cuotas de mercado no sufren alteraciones importantes.

Actualmente la mayoría de sistemas de CAD existentes en el mercado están desarrollados bajo un enfoque de tecnología de componentes, de modo que la producción de un nuevo sistema se desarrolla basándose en las aplicaciones y componentes de software existentes en el mercado. De este modo, un nuevo sistema de CAD se desarrolla ensamblando elementos que tienen prestaciones probadas y definidas.

El componente principal es el núcleo geométrico, puesto que es donde se registra y se representa la geometría y topología de un modelo. Para interactuar con el núcleo geométrico existe un conjunto de funciones para el modelado de sólidos, que se pueden entender como operaciones de bajo nivel. Sin embargo, para el usuario sólo son visibles las operaciones de alto nivel propias del paradigma de diseño que utilice el sistema y no tiene acceso directo a las funciones de modelado de bajo nivel del núcleo geométrico, ni es necesario que conozca los detalles del modelo utilizado.

El desarrollo de una interfaz de usuario bien diseñada es lo que consigue una transparencia total en este sentido. La falta de integración entre el modelado de sólidos y las herramientas para la fabricación y el análisis de las piezas físicas sigue siendo uno de los principales problemas en los sistemas actuales, [12].

A continuación se mencionan algunos paquetes CAD disponibles en el mercado.

- I-DEAS SDRC (Structural Dynamics Research Corporation)
- PRO-ENGINEER PARAMETRIC TECHNOLOGY CORPORATION
- CATIA IBM
- AUTOCAD AUTODESK
- MECHANICAL DESKTOP AUTODESK
- IMAGINEER (2D) INTERGRAPH
- SOLID EDGE INTERGRAPH
- INVENTOR AUTODESK

Los primeros tres proporcionan un paquete completo de apoyo al diseño, están pensados para grandes corporativos ya que involucran a todos los departamentos de una empresa, desde compras, ventas, desarrollo del producto, diseño, manufactura y estructura de producción, además de que manejan herramientas poderosas de diseño basadas en el análisis de elemento finito y simulación de elementos en movimiento. Los últimos se adaptan mejor a cualquier tipo de empresa y a diseñadores independientes, requieren de equipos menos sofisticados y de una organización industrial modesta. Aunque como se ha mencionado, el éxito de un buen diseño es resultado de la suma de las herramientas de que se pueda rodear el diseñador sumado a su capacidad.

## **II.5. Morfología del diseño**

Hoy en día hablar de la morfología del diseño no se puede enfocar en la realización de un producto para la única satisfacción de una necesidad, en la actualidad y como norma básica hay que fijar un panorama del producto si como la respuesta a las necesidades como un satisfactor y además en el diseño tener muy en cuenta el impacto biológico-social.

Estos son los elementos:

- Estudio de factibilidad
- Diseño preliminar
- Diseño detallado
- Planeación para la manufactura
- Planeación para la distribución
- Planeación para el uso
- Planeación para el retiro del producto
- Requerimientos: confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y reparabilidad

El estudio de factibilidad tiene como propósito establecer una línea de pensamiento de donde se parte el diseño y el criterio juega un papel muy importante donde lo económico y lo que está en las posibilidades, así como la facilidad para obtenerlo darán los parámetros para ubicar el diseño en materia de lo posible. Tiene como meta validar la necesidad y su respuesta y más que nada evaluar las soluciones con base a su realización física recalcando en algunos casos el valor económico como el financiero.

En la actualidad el impacto que puede tener un producto en el ambiente es de sumo cuidado, no se puede hablar de un buen diseño sin tomar en cuenta como afecta en el medio para el que va destinado así como su tiempo de uso y el retiro del mismo, sin olvidar que los materiales biodegradables es una buena restricción. Por ejemplo, la selección de materiales es un elemento clave en el ciclo total de vida de un producto.

Una vez analizado el proceso de diseño, se procede al planteamiento de la bicicleta plegable.

Para ello, se describirán inicialmente que es la bicicleta plegable y se desarrollaran todas las etapas requeridas para su conceptualización.

## **II.6. Bicicleta plegable**

La bicicleta plegable es una bicicleta que se puede hacer más pequeña doblándola en dos o más partes. Este tipo de bicicleta está diseñada para que cuando no esté en uso, pueda adquirir una forma que ocupe menos espacio, ya sea para fines de almacenamiento o transporte.

El hecho de poder plegarla hace que sea más fácil de transportar y guardar. Gracias a ello se puede guardar en casa o en el trabajo, se puede combinar su



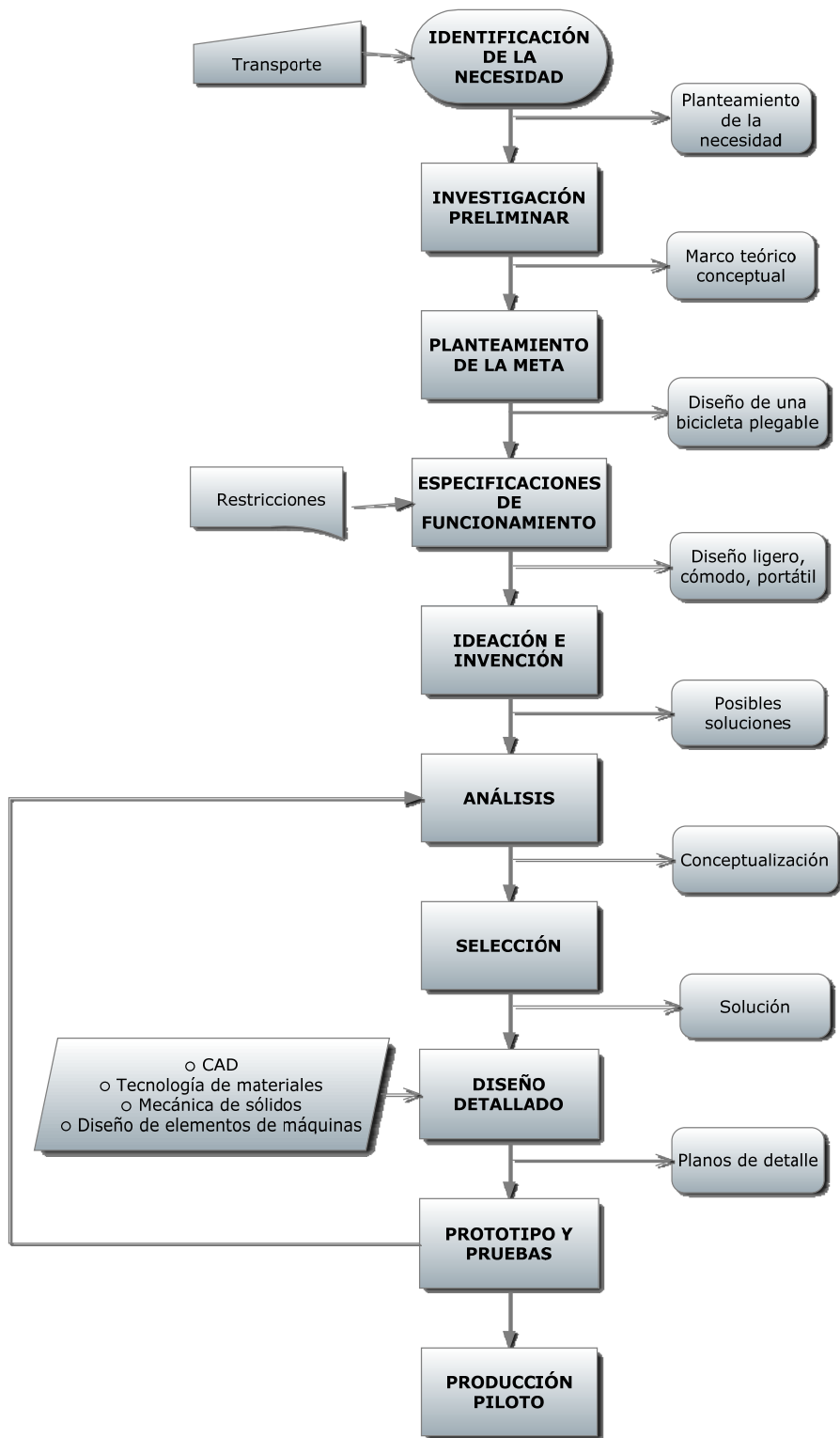
uso con el transporte público o se puede llevar en auto, caravana o en barco con más facilidad que una bicicleta tradicional.

La bicicleta plegable tiene algunas desventajas al ser comparada con una bicicleta convencional, pero también tiene muchas ventajas que una bicicleta normal no puede ofrecer.

Los beneficios que la diferencian de la bicicleta convencional son varios; por ejemplo: poder trasladarse con ella, viajar en tren, avión, barco, metro o autobús, hasta guardarla en el armario de la casa o en el maletero del automóvil.

Es más fácil evitar con ellas los robos, por ejemplo, si se utiliza la bicicleta plegable para ir a trabajar, siempre se podrá plegar y llevar al lugar de trabajo o salir pedaleando de casa hasta el metro, plegarla y llevarla consigo. Cuando se llega al destino se puede desplegar e ir pedaleando hasta el lugar de trabajo. Su tamaño reducido permite transportarla en el metro o en el autobús, donde fácilmente cabe al lado o debajo de un asiento.

Con base en la metodología descrita en el diseño mecánico se desarrollará la bicicleta plegable, considerando las etapas del proceso de diseño, figura 18, para posteriormente definir los componentes de la bicicleta plegable.



**Figura 18.** Modelo del proceso del diseño.

### **II.6.1. Identificación de la necesidad**

El presente trabajo de investigación, tiene como finalidad primordial dar una solución a la problemática que se presenta en el transporte de la Ciudad de México, mediante el diseño de una bicicleta plegable que permitirá el traslado de personas de una manera eficiente, sin contaminar, cómoda, portátil, que permita combinarla con otro tipo de transportes cubriendo asimismo trayectos largos y cortos, evitando siempre que sea posible el tráfico y no represente un estorbo para viajar o desempeñar las actividades del usuario.

### **II.6.2. Investigación preliminar**

Existe en la Ciudad de México una problemática creciente en materia de transporte, las dificultades que representa el congestionamiento vial de la ciudad para las personas, provocado por una población creciente cada vez más distanciada a la demanda de viajes que requiere, son molestias cotidianas y masivas.

La baja calidad en el transporte público orilla a las personas a no dejar el automóvil, así la condición de flujo vehicular se ve saturado debido al exceso de demanda de las vías, provocando congestionamientos, elevando los índices de contaminación, incrementos en los tiempos de viaje, así como el estrés de las personas.

La Ciudad de México presenta además de las dificultades de transporte un severo problema, ser el primer lugar en obesidad en el mundo.

Debido a los problemas mencionados, la Ciudad de México como muchas otras ciudades en el mundo han adoptado a la bicicleta no únicamente como medida contra los congestionamientos vehiculares, sino contra la contaminación además de motivar a las personas para su bienestar físico.

Cabe mencionar que existen traslados cotidianos para personas en la Ciudad de México que resultan casi imposibles de realizar en bicicleta, por la distancia de los mismos, aparte de representar un estorbo para desempeñar las actividades en la ciudad. Sencillamente es más eficiente el andar en bicicleta que el caminar, existen trayectos de rutina que las personas realizan diariamente combinando varios tipos de transporte, de aquí la idea de combinarlos con la bicicleta.

La bicicleta plegable es una idea tan vieja como la bicicleta misma, ya que soluciona el problema de transportación de la misma, existen muchos y diversos tipos de bicicletas plegables, sin embargo el aporte que se haga a este tipo de bicicletas será siempre sustentable, por las ventajas mencionadas sobre una bicicleta normal en la ciudad.

### **II.6.3. Planteamiento de la meta**

Debido a las necesidades de eficiencia en el transporte de la Ciudad de México para algunos usuarios, se plantea una alternativa de solución, el diseño de una bicicleta urbana que sea capaz de transportarse fácilmente con un sistema de plegado, además de combinar los trayectos largos y cortos con algún medio de transporte como el público y que proporcione una comodidad para las personas al momento de trasladarse de un lugar a otro.

### **II.6.4. Especificaciones de funcionamiento**

Para poder establecer las especificaciones de funcionamiento es necesario identificar las necesidades de las personas, que potencialmente, el uso de una bicicleta como medio de transporte para la ciudad sea conveniente, así como las especificaciones que hagan atractivo, el uso de la bicicleta plegable y la combinación de los medios de transporte para el traslado en la ciudad.

De esta manera, se realizó un cuestionario para poder conceptualizar y delimitar el diseño. A continuación se muestran las preguntas primordiales que permitieron desglosar un panorama general.

1. ¿Cuál es su medio de transporte cotidiano?
2. ¿Para realizar sus actividades diarias combina diferentes medios de transporte?
3. ¿Cuál es el tiempo promedio de recorrido que hace para llegar a su destino diariamente?
4. ¿Cuál es la distancia de recorrido para llegar a su destino?
5. ¿Qué factores hacen ineficiente su trayecto?
6. ¿Cuenta usted con automóvil?
7. ¿En su lugar de destino cuenta con estacionamiento?
8. ¿Cuenta usted con bicicleta?
9. ¿Podría ocupar la bicicleta como medio de transporte diario?
10. ¿Considera que el andar en bicicleta evita el sobrepeso?
11. ¿Cuales características, sugiere, debe tener una bicicleta para usarla como transporte urbano?
12. ¿Cuánto está dispuesto a pagar por una bicicleta plegable?

Con base en las respuestas obtenidas se realizó una lista de los requerimientos. Debido a que algunos de ellos no son muy claros y no indican de manera específica las características necesarias de una bicicleta plegable, se efectuó la conversión de lo que se desea en parámetros que pueden ser analizados, determinando así, las especificaciones iniciales:

1. Debe ser cómoda, segura, cromática y ergonómica.
2. Debe ser eficiente como una bicicleta promedio normal.
3. La bicicleta en conjunto no podrá pesar más de diez kilogramos.
4. El volumen de la bicicleta plegada no deberá exceder en demasía la espalda promedio de un hombre.

5. Deberá estar libre de aceite, grasas, lubricantes, que puedan ensuciar al usuario.
6. Los materiales utilizados deberán ser ligeros y resistentes.
7. El mecanismo de plegado deberá de ser rápido y sencillo (amigable para el usuario).
8. El costo de inversión debe ser menor a \$6,000.00 00/100 MN.

Después de realizada esta actividad se obtuvo una lista de necesidades las cuales considerando la siguiente escala, se realizó la tabla 6 de relación de importancia.

1 – Mucha importancia, 2 – Mediana importancia, 3 – Poca importancia.

<b>Necesidad</b>	<b>Relación de importancia</b>
Debe ser cómoda, segura, cromática y ergonómica.	1
Debe ser eficiente como una bicicleta promedio normal.	1
La bicicleta en conjunto no podrá pesar más de diez kilogramos.	1
El volumen de la bicicleta plegada no deberá exceder en demasía la espalda promedio de un hombre.	3
Deberá estar libre de aceite, grasas, lubricantes, que puedan ensuciar al usuario.	1
Los materiales utilizados deberán ser ligeros y resistentes.	2
El mecanismo de plegado deberá de ser rápido y sencillo (amigable para el usuario).	2
El costo de inversión debe ser menor a \$6,000.00 00/100 MN.	1

**Tabla 6.** Relación de importancia.

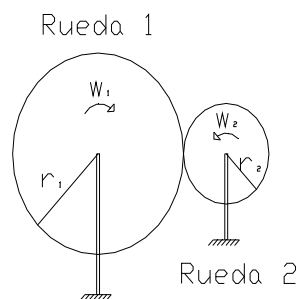
Una vez trazadas las necesidades, se plantean a continuación las alternativas de solución, lo que da la pauta para la siguiente etapa del proceso del diseño. Lo siguiente y con base a lo estipulado como factores del diseño se presentan los elementos que constituyen como diseño propuesto.

### II.6.5. Mecanismo de tracción (caja de pedales)

Previamente se establece que para este sistema se tiene que evitar el uso de lubricantes o aceites, para el mecanismo que será el que de tracción a la bicicleta, así como tener un comportamiento eficiente como el de una bicicleta promedio normal, tomando en cuenta el peso de los componentes.

Se propone un mecanismo corona-piñón para este diseño que proporcione eficiencia en el pedaleo. Asimismo se propone un material con ciertas características favorables, el cual será de un material Nylamid SL con partículas de disulfuro de molibdeno ( $\text{MoS}_2$ ) dispersas homogéneamente en su estructura mejorando su resistencia natural al desgaste, y así reduciendo o eliminando el uso de lubricantes, además de ser un material que se puede considerar ligero, si se compara con los aceros.

Para poder entender cómo se comportan y qué relación existe en los engranes la forma más simple de representarlos es por medio de un elemento conductor y otro conducido, dos ruedas que giran una impulsada por la otra, como se muestra en la figura 19, sea  $r_1$  el radio de giro de la rueda conductora y  $r_2$  el radio de giro de la rueda conducida, [47].



**Figura 19.** Rueda impulsora e impulsada.

Se observa que la rueda uno (conductora) tiene un radio mayor que la rueda dos (conducida), si por ejemplo, el radio de la rueda uno fuese 10 y el de la rueda dos sea 5, por cada giro que de la rueda uno, la rueda dos dará dos giros, de aquí partimos para la relación que aplica tanto en engranes, ruedas dentadas, transmisión por banda o cadena (transmisión de la bicicleta), poleas, entre otros con el mismo principio, quedando expresada como:

$$r_1\omega_1 = r_2\omega_2 \quad \dots(5)$$

En la literatura existen diferentes puntos de vista acerca de la relación de velocidad, donde si el resultado de la relación de velocidad es mayor o menor a 1 se considera reductor de velocidad o incrementador de velocidad, siendo la diferencia la visualización y el acomodo o despeje en las fórmulas, para hacer un análisis de la relación de velocidad entre engranes y entender la relación de velocidad en una bicicleta, primeramente se define una relación de transmisión  $i$  que se usará en este diseño, quedando como:

$$i = \frac{\omega_p}{\omega_G} = \frac{n_p}{n_G} = \frac{D_G}{D_p} = \frac{Z_G}{Z_p} = \frac{\text{velocidad}_p}{\text{velocidad}_G} = \frac{\text{tamaño}_G}{\text{tamaño}_p} \quad \dots(6)$$

Donde:

$i$  = Relación de transmisión.

$\omega$  = Velocidad angular en rad/seg.

$n$  = Velocidad angular en rpm.

$D$  = Diámetro primitivo o de paso.

$Z$  = Numero de dientes

$_p$  = Referente al piñón.

$_G$  = Referente a la corona.



La relación en una bicicleta se plantea de la siguiente manera: si se toma una bicicleta comercial de 42 dientes del plato o estrella y un piñón de 19, se puede definir una relación de transmisión de 42:19 o 2.21 es decir que por cada giro realizado en el pedaleo propiamente transmitido al plato este genera hacia la llanta trasera conectada al piñón 2.21 giros, y si a su vez el número de giros es multiplicado por el perímetro de la llanta se obtiene el desplazamiento obtenido por cada giro en el pedalier, de este modo se consiguen los datos obtenidos en la tabla 7 para bicicletas que se encuentran actualmente en el mercado.

Bicicleta.	Engranajes Plato o estrella- piñón.	Rodada.	Radio de la rueda.	Perímetro de la rueda.	Relación de transmisión.	Distancia recorrida por giro en el pedalier.
Para niño	32-19	16pul	0.4064m	1.27m	1.68	2.13m
Bimex	48-19	20pul	0.508m	1.595m	2.526	4.029m
Común o promedio	42-19	28pul	0.7112m	2.234m	2.21	4.937m

**Tabla 7.** Bicicletas en el mercado.

En la tabla 7, se muestran características de diversas bicicletas, la primera es una constante en muchas bicicletas del mercado para niño con rodada 16 pulgadas, la bicicleta Bimex es una que se propone para su análisis porque es una bicicleta comercial, rodada 20 pulgadas con un sólo plato, recordar que actualmente existen muchos modelos de bicicletas con infinidad de velocidades, por tal se proponen éstas para su análisis y entender lo que existe en el mercado, de la misma forma la bicicleta que en la tabla es llamada común o promedio se considera habitual en el mundo del ciclismo.

Al hablar de relación de velocidad como se vio en el caso de la figura anterior, se observa que se aumenta la velocidad de un elemento a otro con el simple hecho de variar sus dimensiones, llámense dientes, diámetro, etc. Sin embargo en la mecánica como en la naturaleza todo tiene un costo, en este caso la repercusión viene dada en la fuerza o momento de par generado por las ruedas, es precisamente lo que es inversamente proporcional a la velocidad, si se aumenta la velocidad disminuye la fuerza, quedando representado por la ecuación :

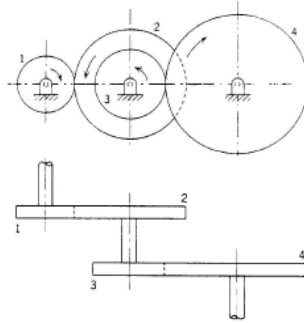
$$M_1\omega_1 = -M_2\omega_2 \quad \dots(7)$$

Aquí  $M$  representa el momento de cada rueda y  $\omega$  la velocidad angular, si se plantean dos velocidades angulares distintas una mayor que la otra, para poder mantener el equilibrio en la magnitud y la ecuación, el momento debe ser menor con respecto al de la velocidad angular mayor y el momento debe ser mayor con respecto al de la velocidad angular menor, sin olvidar el cambio de signo que denota un cambio en el sentido del momento.

Comprendiendo las relaciones de velocidad en una transmisión, existen factores que determinan el diseño. Se sabe que la relación de velocidad en el sistema de transmisión, al montar una rueda mayor a una rueda mucho menor generará grandes resultados en cuestión de distancia por pedaleada en una bicicleta, pero para poder accionar este dispositivo se necesitará a su vez una gran fuerza aplicada al pedal, dificultando el pedaleo haciéndolo pesado con respecto a la relación entre momentos se comprueba lo anterior.

Para poder tener un mecanismo corona-piñón en el diseño de la bicicleta, es necesario tener dos pares de engranes cónicos, un juego corona-piñón que está directamente conectado a la caja del pedalier y al eje y otro juego piñón-corona que está conectado al eje y a la rueda trasera, para poder obtener la relación de transmisión de este sistema es mediante, la que se usa en trenes de engranajes.

La figura 20 muestra una forma simple de tren de engranajes donde el engrane uno proporciona desde el eje la fuerza motriz, éste a su vez por contacto la transmite al engrane dos que está conectado mediante un eje al engrane tres, así el tres por contacto transmite la fuerza al engrane cuatro.



**Figura 20.** Tren de engranajes, [47].

Así la fórmula para determinar la relación de transmisión para trenes de engranaje es:

$$i = \frac{N_1 N_3}{N_2 N_4} = \frac{\text{Producto del numero de dientes de los engranes conductores}}{\text{Producto del numero de dientes de los engranes conducidos}} \quad \dots(8)$$

Justamente la selección del sistema corona piñón propuesto comprende un arreglo de 48 dientes para la corona y 13 dientes para el piñón que serán los que se encuentren impulsados por el pedalier.

El sistema propuesto es en primer plano para no romper tanto el esquema de costo-beneficio recordando que la distancia recorrida va en función de la fuerza aplicada.

Por otro lado para garantizar que siempre haya contacto entre los dientes de los engranes cónicos cuando estos giran, el número mínimo de dientes del piñón es

de 13, esto de acuerdo a su geometría, por tal se selecciona como base mínimo y el engrane de 48 dientes para dar una buena relación de velocidad, pero a su vez no demasiado como para exigir excesiva fuerza para moverlos.

El otro juego de engranes propuesto para el eje y la llanta trasera es piñón-corona 18-18, ya que para garantizar siempre contacto entre dientes de los engranes cónicos con un arreglo de 1 a 1, es decir que por cada vuelta que da el piñón la corona da el mismo número de vueltas, el arreglo mínimo es 16-16 pero la geometría de los mismos resulta un tanto extraña, por tal se propone un 18-18 donde la geometría de estos es más convencional.

Si se aplica la ecuación 8 para obtener la relación de velocidad del tren de engranajes para la transmisión queda:

$$i = \frac{N_1 N_3}{N_2 N_4} = \frac{(48)(18)}{(13)(18)} = 3.69$$

Esto significa que por cada pedaleada en la caja del pedaliar, la rueda trasera dará 3.69 giros, si se combina con los valores propuestos para este diseño con una rodada 16 pulgadas se obtiene la siguiente tabla 8:

Bicicleta.	Engranes Plato o estrella- piñón.	Rodada.	Radio de la rueda.	Perímetro de la rueda.	Relación de transmisión.	Distancia recorrida por giro en el pedaliar.
Plegable (Diseño)	48-13 18- 18	16pul	0.4064m	1.27m	3.69	4.686m

**Tabla 8.** Bicicleta datos.

### **II.6.5.1. Engranés**

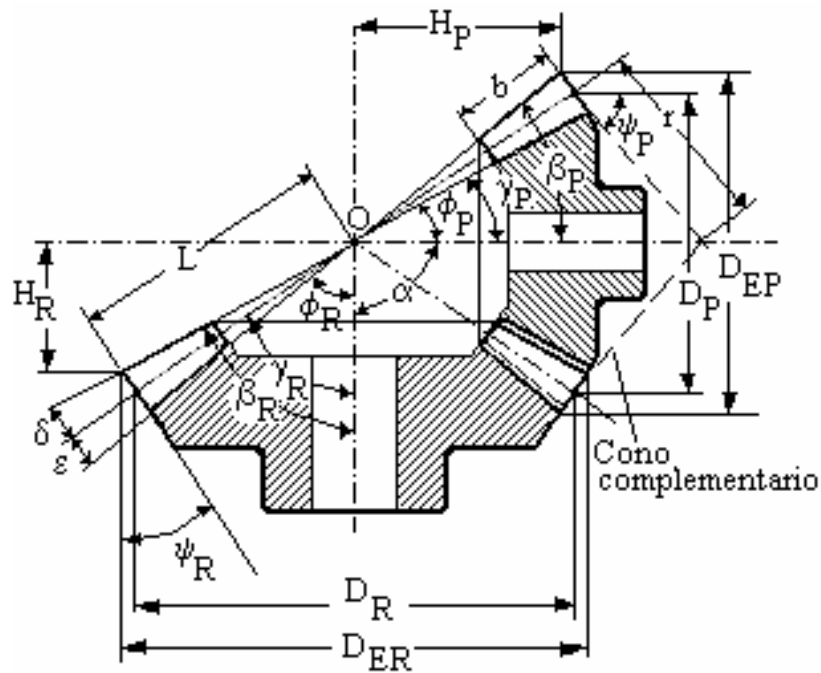
Para los pares de engranes primeramente se debe especificar el número de dientes de cada engrane, si es en sistema métrico el módulo y diámetro primitivo o circunferencia primitiva, en sistema inglés el paso diametral y el diámetro de paso, ancho del diente, el material y su tratamiento térmico, dependiendo todas éstas de considerar resistencia y desgaste de los dientes del engrane, así como requisitos de movimiento.

Se sabe por el tema anterior que el conjunto de engranes seleccionados es: dos pares de engranes cónicos de dientes rectos con ejes a 90 grados, un par de 48-13 para la parte del pedalier y un par 18-18 para la parte de la llanta trasera, conectados por un eje, para un sistema métrico.

Los engranajes cónicos, presentan la particularidad de que la prolongación de sus ejes se cortan entre sí, pudiendo hacerlo, con un ángulo a mayor, menor o igual a 90°. Estos engranajes reemplazan a los conos de fricción que transmiten el movimiento de rotación alrededor de sus ejes a otros conos por fricción, constituyendo estos últimos los conos primitivos de los engranajes cónicos, sobre los cuales se realiza el contacto entre dos engranajes cónicos que engranan entre sí. Los dientes de estos engranajes pueden ser rectos o helicoidales, en este último caso en arco o en espiral. Se analizarán únicamente los engranajes cónicos de dientes rectos.

Para los engranajes cónicos de dientes rectos, sus dientes se disponen siguiendo las generatrices de los conos primitivos. La parte del diente que se halla fuera del cono primitivo se denomina cabeza y la que está en su interior raíz del mismo. Al engranaje de menor diámetro también se lo denomina piñón.

En la figura 21 se muestran dos engranajes cónicos que están engranando entre sí, indicándose sus distintas partes, las cuales se describen a continuación.



**Figura 21.** Engranés cónicos con dientes rectos y ejes a  $90^\circ$

Las circunferencias primitivas son las circunferencias mayores de los conos primitivos, siendo sus diámetros primitivos  $D_R$  y  $D_P$ .

El módulo y el paso circunferencial se determinan por el número de dientes en relación con el diámetro primitivo.

Las generatrices de los conos primitivos y las de cabezas y raíces de los dientes convergen al mismo punto  $O$ .

Los dientes disminuyen progresivamente desde su parte exterior, lugar donde tienen su origen todas las medidas referidas al diente y a los diámetros principales, hacia el centro donde convergen los ejes y las líneas de los flancos del diente prolongadas.

Además de las denominaciones conocidas de los parámetros de los engranajes rectos y que también se emplean en los cónicos, éstos debido a la conicidad que tienen y a la serie de ángulos que aparecen por este motivo, presentan otros con las siguientes denominaciones: ángulo primitivo  $\gamma_R$  de la rueda mayor; ángulo primitivo  $\gamma_P$  de la rueda menor; ángulo exterior  $\beta_R$  o de torno de la rueda mayor; ángulo exterior  $\beta_P$  o de torno de la rueda menor; ángulo de fondo  $\phi_R$  de la rueda mayor; ángulo de fondo  $\phi_P$  de la rueda menor; ángulo  $\delta$  de cabeza del diente; ángulo  $\varepsilon$  de raíz del diente; longitud  $b$  del diente; longitud  $L$  de la generatriz tomada desde el cono primitivo; distancia  $H_R$  y  $H_P$  desde la circunferencia mayor de cabeza al punto de convergencia de los ejes de la rueda mayor y menor respectivamente, utilizada para comprobación; ángulo complementario  $\psi_R$  de la rueda mayor; ángulo complementario  $\psi_P$  de la rueda menor.

Para obtener los distintos parámetros de los engranajes cónicos se utilizan similares expresiones para los engranajes cilíndricos, teniéndose en cuenta la influencia de los ángulos que determinan las dimensiones del diente. Así para un módulo  $M$  se tendrá:

- Paso circunferencial  $p = M\pi$  ...**(9)**

- Altura del diente  $h = 2,16M$  ...**(10)**

- Altura de cabeza  $a = M$  ...**(11)**

- Altura de raíz  $d = 1,16M$  ...**(12)**

- Espesor del diente  $e = 1,57M$  ...**(13)**

La longitud  $L$  de la generatriz del cono primitivo es la misma tanto para la rueda mayor como para la menor (piñón) ya que sus diámetros primitivos, sea cualquiera la relación en que estén al engranar, se encuentran a la misma distancia del centro donde convergen las prolongaciones de los ejes y los flancos de los dientes.

Se pueden escribir las distintas expresiones, tanto para el engrane mayor o corona como para el piñón, que relacionan los parámetros de los engranajes unos en función de los otros, como son módulo, diámetros primitivos, números de dientes, etc.

**a) Engrane mayor o corona.**

- Diámetro exterior:

$$D_{ER} = (2 \operatorname{sen} \gamma_P + Z_R)M = D_R + 2M \cos \gamma_R \quad \dots(14)$$

- Módulo

$$M = \frac{D_R}{Z_R} \quad \dots(15)$$

O también:

$$M = \frac{D_{ER}}{2(\operatorname{sen} \gamma_P) + Z_R} \quad \dots(16)$$

- Ángulo primitivo:

$$\tan \gamma_R = \frac{D_R}{D_P} = \frac{Z_R}{Z_P} \quad \dots(17)$$



También por diferencia:

$$\gamma_R = 90^\circ - \gamma_P \quad \dots(18)$$

- Ángulo de cabeza del diente:

$$\tan \delta = \frac{M}{L} = \frac{2 \operatorname{sen} \gamma_R}{Z_R} \quad \dots(19)$$

- Ángulo exterior:

$$\beta_R = \gamma_R + \delta \quad \dots(20)$$

- Ángulo de fondo:

$$\phi_R = \gamma_R - \varepsilon \quad \dots(21)$$

- Ángulo de raíz:

$$\tan \varepsilon = \frac{1.16M}{L} = 1.16 \tan \delta \quad \dots(22)$$

- Ángulo complementario:

$$\psi_R = 90^\circ - \gamma_R \quad \dots(23)$$

- Longitud de la generatriz del cono primitivo:

$$L = \frac{D_R}{2 \operatorname{sen} \gamma_R} = \frac{Z_R}{2 \operatorname{sen} \gamma_R} M \quad \dots(24)$$

- Distancia de la circunferencia primitiva al vértice del cono primitivo:

$$H_R = \frac{D_P}{2} - M \operatorname{sen} \gamma_R \quad \dots(25)$$

## b) Engrane menor o piñón.

- Diámetro exterior:

$$D_{EP} = (2 \operatorname{sen} \gamma_R + Z_P) M = D_P + 2M \cos \gamma_P \quad \dots(26)$$

- Módulo:

$$M = \frac{D_P}{Z_P} \quad \dots(27)$$

O también:

$$M = \frac{D_{EP}}{2(\operatorname{sen} \gamma_R) + Z_P} \quad \dots(28)$$

- Ángulo primitivo:

$$\tan \gamma_P = \frac{D_P}{D_R} = \frac{Z_P}{Z_R} \quad \dots(29)$$

También:

$$\gamma_P = 90^\circ - \gamma_R \quad \dots(30)$$

- Ángulo exterior:

$$\beta_p = \gamma_p + \delta \quad \dots(31)$$

- Ángulo de fondo:

$$\phi_p = \gamma_p - \varepsilon \quad \dots(32)$$

- Ángulo complementario:

$$\psi_p = 90^\circ - \gamma_p \quad \dots(33)$$

- Longitud de la generatriz del cono primitivo:

$$L = \frac{D_p}{2\text{sen}\gamma_p} = \frac{Z_p}{2\text{sen}\gamma_p} M \quad \dots(34)$$

- Distancia de la circunferencia primitiva al vértice del cono primitivo:

$$H_p = \frac{D_R}{2} - M\text{sen}\gamma_p \quad \dots(35)$$

La longitud  $b$  del diente debe ser igual o menor que  $1/3L$  o de  $6M$  a  $10M$ , [49].

Para realizar los cálculos de la geometría de los engranes es necesario un dato, además de los números de dientes para cada juego de engranes (48-13, 18-18), el cual es la selección del modulo.

El número de módulo que se seleccionó con base a la ecuación 15, tomando en cuenta que el engrane más grande o el de mayor tamaño es el de 48 dientes, y

en base a las dimensiones donde estará contenido, en este caso en la zona asignada para el pedalier.

De la ecuación 15 la otra variable es la del diámetro primitivo el cual provisionalmente toma un valor de 130 mm que dividido entre el número de dientes da un módulo de 2.708 y para una aproximación al módulo estándar más cercano adquiere el valor de 2.75.

Previamente en este diseño se tomaron módulos más pequeños para obtener engranes más pequeños, pero al hacer los cálculos para las fuerzas a las que estarían sujetos los engranes, hechos de un material Nylamid, los dientes no resistirían, de tal manera se llegó al número de módulo óptimo para soportar las fuerzas a los que estarán sujetos.

### **c) Engranes para el modelo.**

Nuevamente se estipula que los engranes tendrán un arreglo 48-13 corona-piñón correspondiente a los engranes que son impulsados por el pedalier, así como un arreglo 18-18 corona-piñón para impulsar la llanta trasera a través del eje o la flecha del mecanismo, asimismo igual modulo para ambos con  $M=2.75$  para la realización de los cálculos, con las ecuaciones ya definidas para cada uno.

### **d) Arreglo 48-13 corona-piñón $M=2.75$**

- Paso circunferencial	$p = M\pi$	=	8.639
- Altura del diente	$h = 2,16M$	=	5.94
- Altura de cabeza	$a = M$	=	2.75
- Altura de raíz	$d = 1,16M$	=	3.19
- Espesor del diente	$e = 1,57M$	=	4.3175

**Corona:**

Diámetro primitivo:

$$M = \frac{D_R}{Z_R} \Rightarrow D_R = MZ_R = (2.75)(48) = 132mm \rightarrow 5.1968pul$$

Ángulo primitivo:

$$\tan \gamma_R = \frac{Z_R}{Z_P} \Rightarrow \gamma_R = \tan^{-1} \frac{48}{13} = 74.84^\circ$$

Diámetro exterior:

$$D_{ER} = D_R + 2M \cos \gamma_R \Rightarrow D_{ER} = 132mm + 2(2.75)(\cos 74.84) = 133.43mm$$

Ángulo de la cabeza del diente:

$$\tan \delta = \frac{2\text{sen}\gamma_R}{Z_R} \Rightarrow \delta = \tan^{-1} \left[ \frac{2\text{sen}(74.84)}{48} \right] = 2.3^\circ$$

Ángulo exterior:

$$\beta_R = \gamma_R + \delta \Rightarrow \beta_R = 74.84 + 2.3 = 77.14^\circ$$

Ángulo de raíz:

$$\tan \varepsilon = 1.16 \tan \delta \Rightarrow \varepsilon = \tan^{-1}(1.16 \tan(2.3)) = 2.67^\circ$$

Ángulo de fondo:

$$\phi_R = \gamma_R - \varepsilon \Rightarrow \phi_R = 74.84 - 2.67 = 72.17^\circ$$

Longitud de la generatriz:

$$L = \frac{D_R}{2 \operatorname{sen} \gamma_R} \Rightarrow L = \frac{132 \text{ mm}}{2 \operatorname{sen}(74.84)} = 68.3 \text{ mm}$$

Distancia de la circunferencia primitiva al vértice del cono primitivo:

$$H_R = \frac{D_P}{2} - M \operatorname{sen} \gamma_R \Rightarrow H_R = \frac{35.75 \text{ mm}}{2} - (2.75) \operatorname{sen}(74.84) = 15.22 \text{ mm}$$

**Piñón:**

Diámetro primitivo:

$$M = \frac{D_P}{Z_P} \Rightarrow D_P = M Z_P = (2.75)(13) = 35.75 \text{ mm} \rightarrow 1.407 \text{ pul}$$

Diámetro exterior:

$$D_{EP} = (2 \operatorname{sen} \gamma_R + Z_P) M \Rightarrow D_{EP} = (2 \operatorname{sen}(74.84) + 13) 2.75 = 41.05 \text{ mm}$$

Ángulo primitivo:

$$\gamma_P = 90^\circ - \gamma_R \Rightarrow \gamma_P = 90^\circ - 74.84^\circ = 15.16^\circ$$

Ángulo exterior:

$$\beta_p = \gamma_p + \delta \Rightarrow \beta_p = 15.16 + 2.3 = 17.46^\circ$$

Ángulo de fondo:

$$\phi_p = \gamma_p - \varepsilon \Rightarrow \phi_p = 15.16 - 2.67 = 12.49^\circ$$

Ángulo complementario:

$$\psi_p = 90^\circ - \gamma_p \Rightarrow \psi_p = 90 - 15.16 = 74.84^\circ$$

Longitud de la generatriz:

$$L = 68.3mm$$

Distancia de la circunferencia primitiva al vértice del cono primitivo:

$$H_p = \frac{D_R}{2} - M \operatorname{sen} \gamma_p \Rightarrow H_p = \frac{132mm}{2} - 2.75 \operatorname{sen}(15.16) = 65.28mm$$

Longitud b del diente para corona y piñón:

$$b = \frac{L}{3} \Rightarrow b = \frac{68.3mm}{3} = 22.7mm \rightarrow 0.893pul$$

En caso de la fabricación para medidas en el sistema inglés y posteriores cálculos es importante obtener el "Paso diametral" (Pd) el cual se obtiene con:

$$M = \frac{25.4}{P_d} \Rightarrow P_d = \frac{25.4}{2.75} = 9.236$$

**e) Arreglo 18-18 corona-piñón M=2.75**

**Corona:**

Diámetro primitivo:

$$M = \frac{D_R}{Z_R} \Rightarrow D_R = MZ_R = (2.75)(18) = 49.5mm \rightarrow 1.948 pul$$

Ángulo primitivo:

$$\tan \gamma_R = \frac{Z_R}{Z_P} \Rightarrow \gamma_R = \tan^{-1} \frac{18}{18} = 45^\circ$$

Diámetro exterior:

$$D_{ER} = D_R + 2M \cos \gamma_R \Rightarrow D_{ER} = 49.5mm + 2(2.75)(\cos 45) = 53.389mm$$

Ángulo de la cabeza del diente:

$$\tan \delta = \frac{2 \operatorname{sen} \gamma_R}{Z_R} \Rightarrow \delta = \tan^{-1} \left[ \frac{2 \operatorname{sen}(45)}{18} \right] = 4.49^\circ$$



Ángulo exterior:

$$\beta_R = \gamma_R + \delta \Rightarrow \beta_R = 45 + 4.49 = 49.49^\circ$$

Ángulo de raíz:

$$\tan \varepsilon = 1.16 \tan \delta \Rightarrow \varepsilon = \tan^{-1}(1.16 \tan(4.49)) = 5.20^\circ$$

Ángulo de fondo:

$$\phi_R = \gamma_R - \varepsilon \Rightarrow \phi_R = 45 - 5.20 = 39.8^\circ$$

Longitud de la generatriz:

$$L = \frac{D_R}{2 \operatorname{sen} \gamma_R} \Rightarrow L = \frac{49.5 \text{ mm}}{2 \operatorname{sen}(45)} = 35 \text{ mm}$$

Distancia de la circunferencia primitiva al vértice del cono primitivo:

$$H_R = \frac{D_P}{2} - M \operatorname{sen} \gamma_R \Rightarrow H_R = \frac{49.5 \text{ mm}}{2} - (2.75) \operatorname{sen}(45) = 22.80 \text{ mm}$$

**Piñón:**

Diámetro primitivo:

$$M = \frac{D_p}{Z_p} \Rightarrow D_p = MZ_p = (2.75)(18) = 49.5mm \rightarrow 1.948pul$$

Diámetro exterior:

$$D_{EP} = (2 \operatorname{sen} \gamma_R + Z_p)M \Rightarrow D_{EP} = (2 \operatorname{sen}(45) + 18)2.75 = 53.38mm$$

Ángulo primitivo:

$$\gamma_p = 90^\circ - \gamma_R \Rightarrow \gamma_p = 90^\circ - 45^\circ = 45^\circ$$

Ángulo exterior:

$$\beta_p = \gamma_p + \delta \Rightarrow \beta_p = 45 + 4.49 = 49.49^\circ$$

Ángulo de fondo:

$$\phi_p = \gamma_p - \varepsilon \Rightarrow \phi_p = 45 - 5.20 = 39.8^\circ$$

Ángulo complementario:

$$\psi_p = 90^\circ - \gamma_p \Rightarrow \psi_p = 90 - 45 = 45^\circ$$

Longitud de la generatriz:

$$L = 35mm$$

Distancia de la circunferencia primitiva al vértice del cono primitivo:

$$H_p = \frac{D_R}{2} - M \operatorname{sen} \gamma_p \Rightarrow H_p = \frac{49.5mm}{2} - 2.75 \operatorname{sen}(45) = 22.80mm$$

Longitud b del diente para corona y piñón:

$$b = \frac{L}{3} \Rightarrow b = \frac{35mm}{3} = 11.66mm \rightarrow 0.459 pul$$

En caso de la fabricación para medidas en el sistema ingles y posteriores cálculos es importante obtener el “Paso diametral” (Pd) el cual se obtiene con:

$$M = \frac{25.4}{P_d} \Rightarrow P_d = \frac{25.4}{2.75} = 9.236$$

### II.6.5.2. Fuerzas en los engranes

Debido a la forma cónica de estos engranes y al desarrollo de los mismos, sobre los dientes de los engranes cónicos actúa un conjunto de fuerzas con tres componentes. La fuerza tangencial  $W_t$ , la fuerza radial  $W_r$  y la fuerza axial  $W_x$ . Se supone, las tres residen en forma concurrente a la mitad de la cara de los dientes,

pese a que el punto real de aplicación de la fuerza resultante está ligeramente desplazado, no figura un error de consideración, el diagrama de cuerpo libre tanto del piñón y la corona se observa en la figura 43.

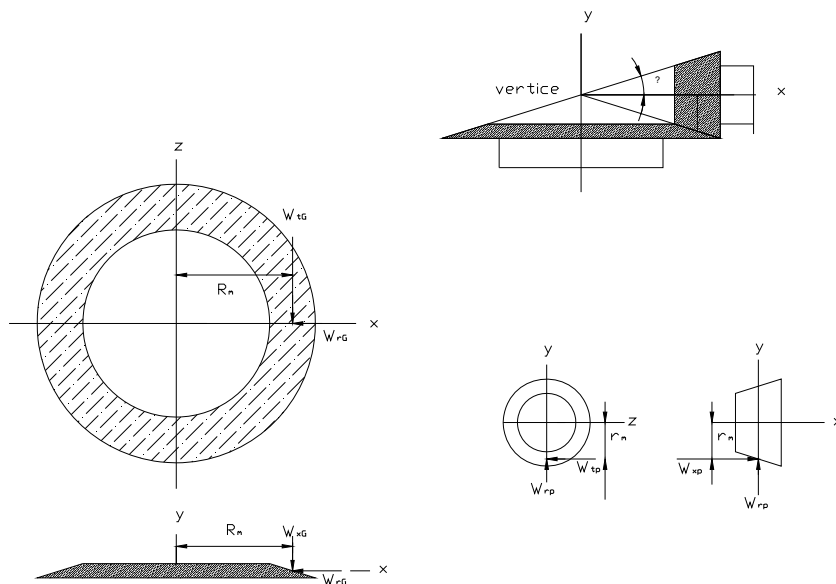
La fuerza tangencial es la fuerza que produce el par torsional sobre el piñón y sobre la corona. Se puede calcular el par torsional a partir de la potencia transmitida conocida y de la velocidad de giro.

$$T = 63000P / n \quad \dots(36)$$

Entonces, por ejemplo con el piñón la carga transmitida es:

$$W_{tP} = T / r_m \quad \dots(37)$$

Donde  $r_m$  = radio promedio del piñón.



**Figura 22.** Diagrama de cuerpo libre de los engranes.

Al considerar magnitudes:

$$W_{tP} = W_{tG}$$

$$W_{xP} = W_{rG}$$

$$W_{rP} = W_{xG}$$

El valor de  $r_m$  se puede calcular con:

$$r_m = d / 2 - (F / 2) \operatorname{sen} \gamma \quad \dots(38)$$

La carga radial actúa hacia el centro del piñón, perpendicular a su eje y causa flexión en el eje del piñón. Entonces:

$$W_{rP} = W_t \tan \phi \cos \gamma \quad \dots(39)$$

El ángulo  $\phi$  es el ángulo de presión para los dientes.

La carga axial actúa paralela al eje del piñón esto causa una carga de empuje. De esta manera:

$$W_{xP} = W_t \tan \phi \operatorname{sen} \gamma \quad \dots(40)$$

Los valores de las fuerzas sobre la corona, se pueden calcular con las mismas ecuaciones del piñón, si se sustituye la geometría del piñón por la de la corona, con las relaciones de fuerzas entre ambos, tanto en magnitud como en dirección.

A continuación se establecen los datos necesarios para los cálculos, tomando en cuenta los datos obtenidos de la geometría de los engranes, sin embargo como las fórmulas establecidas y futuros cálculos están dadas en sistema inglés, se presenta su conversión de la siguiente manera:

Número de dientes del piñón:  $N_p = 13$

Número de dientes de la corona:  $N_G = 48$

Paso diametral:  $P_d = 9.236$

Diámetro de paso del piñón o diámetro primitivo:  $d = 1.407 \text{ pul}$

Diámetro de paso de la corona:  $D = 5.1968 \text{ pul}$

Ángulo de presión:  $\phi = 20^\circ$

Ángulo del cono de paso del piñón:  $\gamma = 15.16^\circ$

Ángulo del cono de paso de la corona:  $\Gamma = 74.84^\circ$

Ancho de cara:  $F = 0.889 \text{ pul}$

Velocidad de giro de la corona:  $n_G = 100 \text{ rpm}$

Potencia transmitida:  $P = 400 \text{ w} \left( \frac{1 \text{ hp}}{745.7 \text{ w}} \right) = 0.536 \text{ hp}$

Las fuerzas en la corona se describen con la siguiente ecuación:

$$W_t = T / R_m \quad \dots(41)$$

Pero de la ecuación 36.

$$T_G = 63000P / n_G = 63000(0.536 \text{ hp}) / 100 \text{ rpm} = 337.93 \text{ lb} \cdot \text{ pul}$$

De la ecuación 38 el radio promedio para la corona es:

$$R_m = \frac{D}{2} - (F/2)\text{sen}\Gamma = \frac{5.1968}{2} - \left(\frac{.889}{2}\right)\text{sen}74.84 = 2.1693\text{ pul}$$

Entonces:

$$W_t = T_G / R_m = (337.93\text{ lb} \cdot \text{ pul}) / (2.1693\text{ pul}) = 155.778\text{ lb}$$

$$W_r = W_t \tan \phi \cos \Gamma = (155.778\text{ lb}) \tan 20 \cos 74.84 = 14.827\text{ lb}$$

$$W_x = W_t \tan \phi \text{sen}\Gamma = (155.778\text{ lb}) \tan 20 \text{sen}74.84 = 54.72\text{ lb}$$

Para determinar las fuerzas en el piñón, primero se calcula la velocidad de giro del piñón:

$$n_p = n_G \left( \frac{N_G}{N_p} \right) = 100\text{ rpm} \left( \frac{48}{13} \right) = 369.23\text{ rpm}$$

Entonces:

$$T_p = 63000P / n_p = 63000(0.536\text{ hp}) / 369.23\text{ rpm} = 91.455\text{ lb} \cdot \text{ pul}$$

$$r_m = \frac{d}{2} - (F/2)\text{sen}\gamma = \frac{1.407}{2} - \left(\frac{.889}{2}\right)\text{sen}15.16 = 0.587\text{ pul}$$

$$W_t = T_p / r_m = (91.455\text{ lb} \cdot \text{ pul}) / (0.587\text{ pul}) = 155.7972\text{ lb}$$

$$W_r = W_t \tan \phi \cos \gamma = (155.7972\text{ lb}) \tan 20 \cos 15.16 = 54.7321\text{ lb}$$

$$W_x = W_t \tan \phi \operatorname{sen} \gamma = (155.7972 \text{ lb}) \tan 20 \operatorname{sen} 15.16 = 14.829 \text{ lb}$$

Quedando así demostrado que:

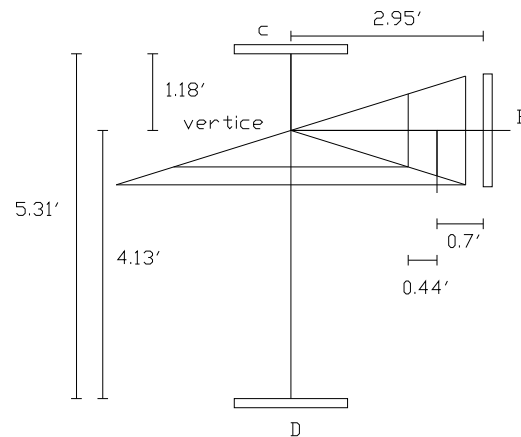
$$W_{tP} = W_{tG}$$

$$W_{xP} = W_{rG}$$

$$W_{rP} = W_{xG}$$

### a) Fuerzas en los rodamientos.

De acuerdo a los engranes y la disposición de los rodamientos quedan distribuidos de la siguiente manera, figura 23.



**Figura 23.** Distribución de los engranes.

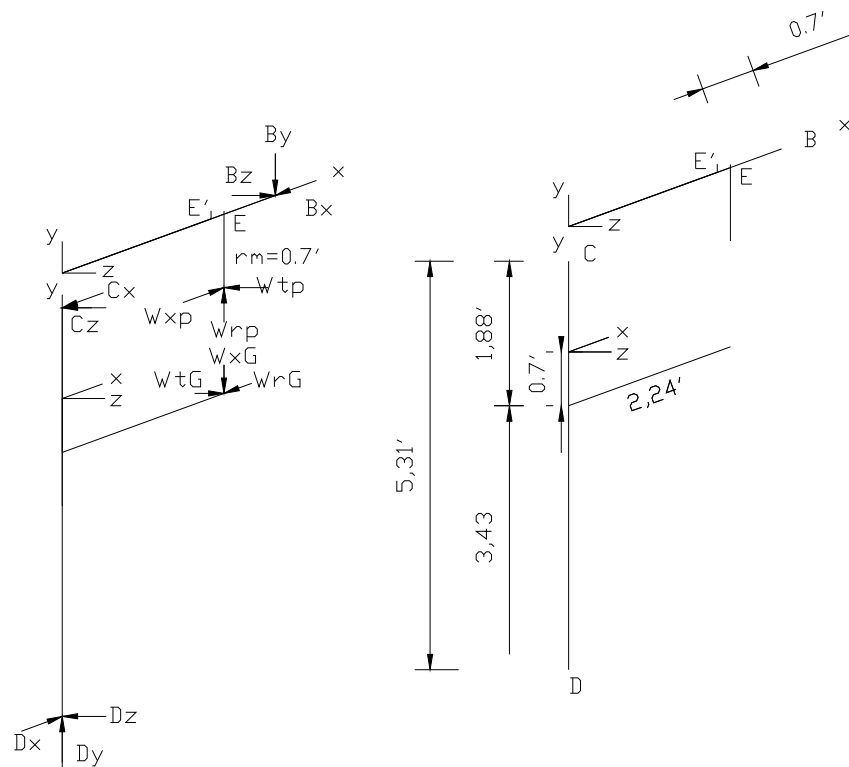
Las fuerzas que actúan en los dientes de los engranes quedan como se muestran en la tabla 9.



Fuerza	Piñón	Engrane o corona
Tangencial	$W_{tp}=156\text{lb}$	$W_{tG}=156\text{lb}$
Radial	$W_{rp}=55\text{lb}$	$W_{rG}=15\text{lb}$
Axial	$W_{xp}=15\text{lb}$	$W_{xG}=55\text{lb}$

**Tabla 9.** Fuerzas en los dientes de los engranes.

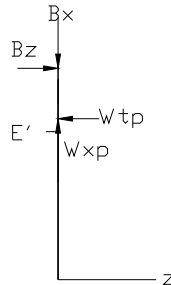
De esta manera se desarrolla un diagrama de cuerpo libre para los engranes, figura 24.



**Figura 24.** Diagrama de cuerpo libre.

Reacciones en el rodamiento B que pertenece al piñón, primeramente para obtener las reacciones, en este caso  $B_z$ . Se hace el análisis por planos, en este

caso para el plano X-Z y en el sólo actúa  $W_{tp}$ , a su vez se sumarán momentos con respecto al punto E' para obtener la magnitud de la fuerza, figura 25.



**Figura 25.** Plano X-Z.

Así se obtiene que:

$$0 = W_{tp}(0.44 \text{ pul}) - B_z(1.14 \text{ pul}) \quad \dots(42)$$

$$B_z(1.14 \text{ pul}) = 156 \text{ lb}(0.44 \text{ pul})$$

$$B_z = \frac{68.64 \text{ lb} \cdot \text{pul}}{1.14 \text{ pul}}$$

$$B_z = 60.21 \text{ lb}$$

Se calcula  $B_y$  en el plano X-Y en el actúan tanto  $W_{tp}$  como  $W_{xp}$  con la sumatoria de momentos con respecto al punto E'.

$$0 = W_{tp}(0.44 \text{ pul}) + W_{xp}(0.7 \text{ pul}) - B_y(1.14 \text{ pul}) \quad \dots(43)$$

$$(55 \text{ lb})(0.44 \text{ pul}) + (15 \text{ lb})(0.7 \text{ pul}) = B_y(1.14 \text{ pul})$$

$$B_y = \frac{34.7 \text{ lb} \cdot \text{pul}}{1.14 \text{ pul}}$$

$$B_y = 30.5 \text{ lb}$$

Pero como fuerza de empuje solo actúa:

$$B_x = W_{xp} = 15lb \quad \dots(44)$$

Para obtener la magnitud del rodamiento:

$$B = \sqrt{(B_y^2 + B_z^2)} = \sqrt{((31lb)^2 + (60.21lb)^2)} \quad \dots(45)$$
$$B = 68lb$$

El rodamiento B=68lb radial; 15lb de empuje.

Rodamientos para el engrane o corona C y D en el plano Y-Z respecto al punto D.

$$0 = C_z(5.31pul) - W_{tG}(3.43pul) \quad \dots(46)$$
$$C_z(5.31pul) = (156lb)(3.43pul)$$
$$C_z = \frac{535.08lb \cdot pul}{5.31pul}$$
$$C_z = 101lb$$

Mismo plano ahora en el punto C.

$$0 = W_{tG}(1.88pul) - D_z(5.31pul) \quad \dots(47)$$
$$D_z(5.31pul) = (156lb)(1.88pul)$$
$$D_z = \frac{293.28lb \cdot pul}{5.31pul}$$
$$D_z = 55.23lb$$

Para plano Y-X desde el punto D.

$$\begin{aligned}C_x(5.31\text{ pul}) + W_{rG}(3.43\text{ pul}) - W_{xG}(2.24\text{ pul}) &= 0 & \dots(48) \\C_x(5.31) &= -15\text{ lb}(3.43\text{ pul}) + 55\text{ lb}(2.24\text{ pul}) \\C_x &= \frac{71.75\text{ lb} \cdot \text{ pul}}{5.31\text{ pul}} \\C_x &= 13.5\text{ lb}\end{aligned}$$

Mismo plano punto C.

$$\begin{aligned}D_x(5.31\text{ pul}) - W_{rG}(1.88\text{ pul}) - W_{xG}(2.24\text{ pul}) &= 0 & \dots(49) \\D_x(5.31\text{ pul}) &= 15\text{ lb}(1.88\text{ pul}) + 55\text{ lb}(2.24\text{ pul}) \\D_x &= \frac{151.4\text{ lb} \cdot \text{ pul}}{5.31\text{ pul}} \\D_x &= 28.5\text{ lb}\end{aligned}$$

Así el rodamiento C tendrá una fuerza radial de:

$$\begin{aligned}C &= \sqrt{(C_z^2 + C_x^2)} = \sqrt{(101\text{ lb}^2 + 13.5\text{ lb}^2)} & \dots(50) \\C &= 102\text{ lb}\end{aligned}$$

Y el rodamiento D tendrá una fuerza radial de:

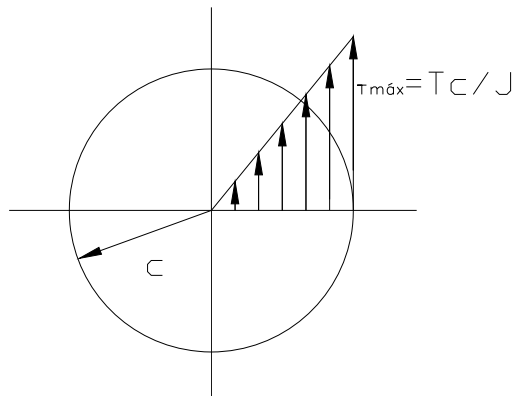
$$\begin{aligned}D &= \sqrt{(D_z^2 + D_x^2)} = \sqrt{(55.23\text{ lb}^2 + 28.5\text{ lb}^2)} & \dots(51) \\D &= 62.14\text{ lb}\end{aligned}$$

Con una fuerza de empuje sobre D de:

$$D_y = W_{xG} = 55\text{ lb} \quad \dots(51)$$

**b) Diseño de flecha respecto a esfuerzo cortante torsional máximo.**

Para poder comprender mejor el desarrollo de este tipo de esfuerzo la figura 26 muestra el comportamiento del esfuerzo cortante torsional máximo.



**Figura 26.** Esfuerzo cortante torsional máximo.

Quedando expresada la ecuación de esfuerzo cortante torsional máximo como:

$$T = P / n \quad \dots(53)$$

Donde:

T = Par de torsión.

P = Potencia.

n = velocidad de giro en rad/seg.

De la sección anterior se conoce que la velocidad de giro en el piñón es de 369.23 RPM y con 400 watts generados para el análisis.

$$T = \frac{400w}{369.23rpm \left( \frac{2\pi}{60} \right)}$$

$$T = 10.34N \cdot m$$

Con estos datos y el diámetro propuesto para el eje de 12.7 mm se puede conocer el esfuerzo cortante torsional máximo.

$$\tau_{m\acute{a}x} = Tc / J \quad \dots(54)$$

Donde:

T = Par de torsión.

C = Radio de la superficie externa del eje.

J = Momento polar de inercia para el círculo.

$$J = \pi D^4 / 32 \quad \dots(55)$$

Sustituyendo valores:

$$c = D / 2 = 6.35mm$$

$$J = \frac{\pi D^4}{32} = \frac{\pi(12.7mm)^4}{32} = 2554mm^4$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{(10.34N \cdot m)(6.35mm)}{2554mm^4} \frac{1000mm}{1m} = 25.7N / mm^2 = 25.7MPa$$

Con un factor de conversión de:

$$1Kip / pul^2 = 6.895MPa$$

$$6.895MPa = 3.7273Kip / pul^2 = 3727.3psi$$

Si se propone el mismo material de los engranes Nylamid SL con una resistencia al corte de 10500 psi, contra un esfuerzo cortante generado de 3727.3 psi se deduce que el material es adecuado.

### **c) Análisis a los engranes.**

Para garantizar que los engranes elegidos hayan sido los correctos, en relación a las fuerzas que soportan y a la fatiga en este caso representada por la picadura, se realiza un análisis de esfuerzos en los dientes para los engranes cónicos, y otro análisis por resistencia a la picadura. Se usara Nylamid SL como material para los engranes.

### **d) Esfuerzos de los dientes de los engranes cónicos rectos.**

El esfuerzo flexionante máximo ocurre en la raíz del diente, justo en el chaflán. Este esfuerzo se calcula con:

$$s_t = \frac{W_t P_d}{FJ} \frac{K_o K_s K_m}{K_v} \quad \dots(56)$$

Donde  $W_t$  al contrario de calcularla como en la sección anterior, aquí se calculará mediante el diámetro del engrane en su extremo grande, y no a la mitad del diente. Esto es más conveniente ya que el ajuste por distribución real de las fuerzas se obtendrá por razón del valor de factor de geometría  $J$ .

Entonces:

$$W_t = \frac{T}{r} = \frac{63000(P)}{n_p} \frac{1}{d/2} \quad \dots(57)$$

Donde:

$T$  = par torsional transmitido (lb.pul).

$r$  = radio de paso del piñón (pulgadas).

$P$  = potencia transmitida (HP).

$n_p$  = velocidad de giro del piñón (rpm).

$d$  = diámetro de paso del piñón en su extremo grande (pul).

Así  $K_v$  representa el factor dinámico. Entre los factores que afectan el factor dinámico incluyen la exactitud de manufactura de los dientes del engrane (número de calidad  $Q$ ), la velocidad de la línea de paso  $v_t$  ( $v_t = \pi d n_p / 2$ ), la carga sobre el diente y la rigidez de los dientes. Respecto a la norma AGMA 2003-A86 se recomienda el siguiente procedimiento para calcular  $K_v$  respecto a la resistencia a la flexión, y  $C_v$  para la resistencia a la picadura, [24]

$$C_v = K_v = \left[ \frac{K_z}{K_z + \sqrt{v_t}} \right]^u \quad \dots(58)$$



Donde:

$$u = \frac{8}{(2)^{0.5Q}} - s_{at} \left[ \frac{125}{E_P + E_G} \right] \quad \dots(59)$$

$$K_z = 85 - 10(u) \quad \dots(60)$$

Si esta ecuación resulta en un valor negativo de  $u$ , se maneja  $u = 0$ . Como comprobación de la sección adecuada del número de calidad, se debe calcular un valor mínimo de  $C_v$  con

$$C_{vmin} = \frac{2}{\pi} \tan^{-1}(v_t / 333) \quad \dots(61)$$

El valor de resultado de la tangente inversa debe estar en radianes. Si el valor real de  $C_v$  es menor que  $C_{vmin}$ , se debe especificar un valor mayor del número de calidad.

Factor por tamaño:  $K_s$

Factor por distribución de carga:  $K_m$

Factor de geometría:  $J$

Factor de sobrecarga:  $K_0$

A continuación se obtendrán los respectivos valores para este diseño, ya que muchos de ellos son obtenidos de tablas recomendados o sugeridos por AGMA, tabla 10, figuras 27, 28, 29 y 30, [24].

Número de calidad	$Q = 6$	Valor recomendado para mecanismos de alta calidad pero que trabajan a poca velocidad de la línea de paso. Figura 27 (tabla 9-2 p378, [24])
Factor de sobrecarga	$K_0 = 1$	Donde la fuente se considera uniforme al no existir choque de consideración. Figura 28 (tabla 9-5 p389, [24]).
Factor de tamaño	$K_s = 1$	Al ser $P_d$ mayor a 5, todos los valores por encima de 5 tendrán este valor. Figura 28 (tabla 9-6 p389, [24])
Factor de distribución de carga	$K_m = 1.5$	Valor obtenido para un engrane montado en pórtico es decir esta sujetado por dos rodamientos. Figura 29 (tabla 10-3 p471, [24])
Factor de geometría	$J = 0.23$	Factor obtenido de la grafica para el piñón de 13 dientes con un acoplado de 48. Figura 30 (figura 10-13 p472, [24]).
Número de esfuerzo flexionante admisible (Nylamid SL)	$s_{at} = 14000 \text{ psi}$	Guía técnica Nylamid
Módulo de elasticidad a la flexión	$E_p = E_G = 300000 \text{ psi}$	Guía técnica Nylamid

**Tabla 10.** Valores para los engranes y Nylamid.

**TABLA 9-2** Números de calidad AGMA recomendados

Aplicación	Número de calidad	Aplicación	Número de calidad
Accionamiento de tambor			
mezclador de cemento	3-5	Taladro pequeño	7-9
Horno de cemento	5-6	Lavadora de ropa	8-10
Impulsores de laminadoras de acero	5-6	Prensa de impresión	9-11
Cosechadora de granos	5-7	Mecanismo de cómputo	10-11
Grúas	5-7	Transmisión automotriz	10-11
Prensas de punzonado	5-7	Accionamiento de antena de radar	10-12
Transportador de mina	5-7	Accionamiento de propulsión marina	10-12
Máquina para fabricar cajas de papel	6-8	Accionamiento de motor de avión	10-13
Mecanismo de medidores de gas	7-9	Giroscopio	12-14
Accionamientos de máquinas herramienta y de otros sistemas mecánicos de alta calidad			
Velocidad de la línea de paso (pies/min)	Número de calidad	Velocidad de la línea de paso	
0-800	6-8	0-4	
800-2000	8-10	4-11	
2000-4000	10-12	11-22	
Más de 4000	12-14	Más de 22	

**Figura 27.** Número de calidad, [24].

**TABLA 9-5** Factores de sobrecarga sugeridos,  $K_o$

Fuente de potencia	Máquina impulsada			
	Uniforme	Choque ligero	Choque moderado	Choque pesado
Uniforme	1.00	1.25	1.50	1.75
Choque ligero	1.20	1.40	1.75	2.25
Choque moderado	1.30	1.70	2.00	2.75

**TABLA 9-6** Factores de tamaño sugeridos,  $K_s$

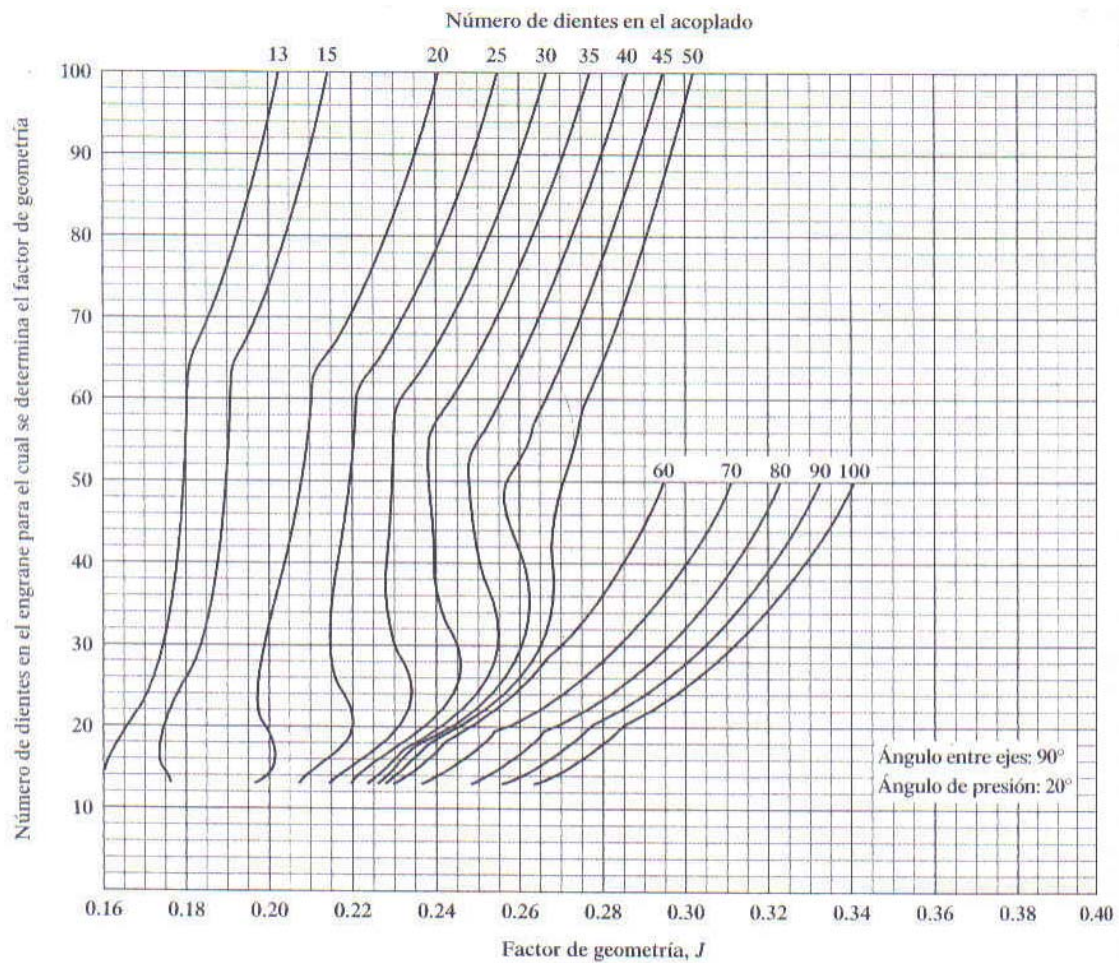
Paso diametral, $P_d$	Módulo métrico, $m$	Factor de tamaño, $K_s$
$\geq 5$	$\leq 5$	1.00
4	6	1.05
3	8	1.15
2	12	1.25
1.25	20	1.40

**Figura 28.** Factores de sobrecarga y tamaño, [24].

**TABLA 10-3** Factores de distribución de carga  $K_m$  para engranes cónicos

Tipo de engrane	Ambos engranes montados en pórtico	Un engrane montado en pórtico	Ningún engrane montado en pórtico
Calidad comercial general	1.44	1.58	1.80
Engrane comercial de alta calidad	1.20	1.32	1.50

**Figura 29.** Factores de distribución de carga, [24].



**Figura 30.** Factor de geometría, [24].

Con los valores obtenidos [24], la guía técnica del Nylamid, así como los datos previamente obtenidos para el mecanismo corona-piñón, se dispone a hacer los cálculos para obtener el esfuerzo flexionante.

Número de dientes del piñón:  $N_p = 13$

Número de dientes de la corona:  $N_G = 48$

Paso diametral:  $P_d = 9.236$

Diámetro de paso del piñón o diámetro primitivo:  $d = 1.407 \text{ pul}$

Diámetro de paso de la corona:  $D = 5.1968 \text{ pul}$

Ángulo de presión:  $\phi = 20^\circ$

Ángulo del cono de paso del piñón:  $\gamma = 15.16^\circ$

Ángulo del cono de paso de la corona:  $\Gamma = 74.84^\circ$

Ancho de cara:  $F = 0.889 \text{ pul}$

Velocidad de giro de la corona:  $n_G = 100 \text{ rpm}$

Velocidad de giro del piñón:  $n_p = 369.23 \text{ rpm}$

Potencia transmitida:  $P = 400 \text{ w} \left( \frac{1 \text{ hp}}{745.7 \text{ w}} \right) = 0.536 \text{ hp}$

Así de las ecuaciones propuestas a partir de la ecuación 57:

$$W_t = \frac{T}{r} = \frac{63000(P)}{n_p} \frac{1}{d/2} \Rightarrow W_t = \frac{63000(0.536)}{369.23} \frac{1}{1.407/2} = 130 \text{ lb}$$

$$v_t = \pi d n_p / 2 \Rightarrow v_t = \pi(1.407)(369.23) / 12 = 136 \text{ pies / min}$$

$$u = \frac{8}{(2)^{0.5Q}} - s_{at} \left[ \frac{125}{E_p + E_G} \right] \Rightarrow u = \frac{8}{(2)^{0.5(6)}} - 14000 \left[ \frac{125}{300000 + 300000} \right] = -1.916 \rightarrow 1.916$$

$$K_z = 85 - 10(u) \Rightarrow K_z = 85 - 10(1.916) = 65.84$$

$$C_v = K_v = \left[ \frac{K_z}{K_z + \sqrt{v_t}} \right]^u \Rightarrow C_v = K_v = \left[ \frac{65.84}{65.84 + \sqrt{136}} \right]^{1.916} = 0.7316$$

Se comprueba con  $C_{vmin} = (2/\pi) \tan^{-1}(136/333) = 0.246$  (se obtiene con la calculadora en radianes). El valor de  $C_v$  es aceptable. Así la ecuación 61 queda:

$$s_t = \frac{W_t P_d}{FJ} \frac{K_0 K_s K_m}{K_v} \Rightarrow s_t = \frac{(130)(9.236)}{(0.889)(0.23)} \frac{(1)(1)(1.5)}{(0.7316)} = 12039.68 \text{ psi}$$

Por lo tanto, se verifica que el esfuerzo de fluencia está por debajo del esfuerzo flexionante admisible del material Nylamid SL (tabla10).

$$s_t < s_{at}$$

### e) Resistencia a la picadura de los engranes cónicos.

El método de análisis para este modo de falla es la fatiga de la superficie de los dientes bajo la influencia del esfuerzo de contacto entre los engranes acoplados.

El esfuerzo de contacto  $s_c$ , llamado esfuerzo de *Hertz*, se calcula con:

$$s_c = C_p C_b \sqrt{\frac{W_t}{FdI} \frac{C_0 C_m}{C_v}} \quad \dots(62)$$

Los factores  $C_0$ ,  $C_v$  y  $C_m$  son iguales a  $K_0$ ,  $K_v$  y  $K_m$ , respectivamente, los cuales se usaron para el esfuerzo obtenido de la sección anterior. Los términos  $W_t$ ,  $F$  y  $d$  también son los mismos. El factor  $C_p$  es el coeficiente elástico y se obtiene con:

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left\{ \left[ \frac{(1-\nu_p^2)}{E_p} \right] + \left[ \frac{(1-\nu_G^2)}{E_G} \right] \right\}}} \quad \dots(63)$$

Donde  $\nu_p$  y  $\nu_G$  son la relación de Poisson con 0.35 para ambos ya que se trata del mismo material para la corona y el piñón, así como el módulo de elasticidad en tensión del Nylamid SL  $E_p = E_G = 400000 \text{ psi}$ , para un factor geométrico  $I = 0.065$ , [24], (Figura 51 factor de geometría para engranes cónicos) y  $C_b = 0.6434$  como factor de esfuerzo de contacto admisible (lo mismo para engranes rectos y helicoidales) quedando sustituyendo los valores en la ecuación 63:

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left\{ \left[ \frac{(1-\nu_p^2)}{E_p} \right] + \left[ \frac{(1-\nu_G^2)}{E_G} \right] \right\}}} \Rightarrow$$

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left\{ \left[ \frac{(1-0.35^2)}{400000} \right] + \left[ \frac{(1-0.35^2)}{400000} \right] \right\}}} = 269.35$$

Entonces la ecuación 62 queda:

$$s_c = C_p C_b \sqrt{\frac{W_t}{F d I} \frac{C_0 C_m}{C_v}} \Rightarrow$$

$$s_c = (269.35)(0.634) \sqrt{\frac{(130)}{(0.889)(1.407)(0.065)} \frac{(1)(1.5)}{(0.7316)}} = 9777.6 \text{ psi}$$

Nuevamente se confirma que el esfuerzo de contacto está por debajo del esfuerzo admisible para el material Nylamid SL (tabla 10).

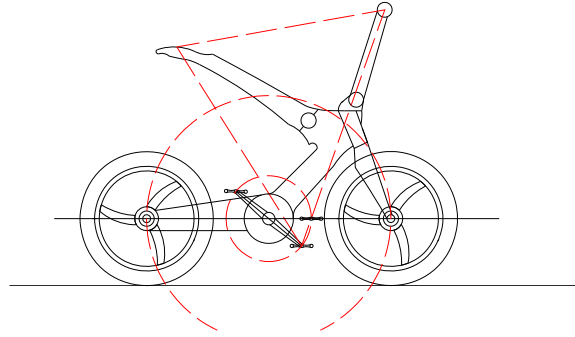
$$s_c < s_{at}$$

### **II.6.6. Diseño y elementos de la estructura (cuadro)**

El diseño propuesto se ideó como concepto de un diseño inteligente, aerodinámico, cómodo, así como seguro y cromático. De lo referente a la ergonomía de la bicicleta hay medidas que deben manejarse como estándares para que un adulto promedio de 80 kg pueda manejarla, es decir que las distancias entre sillín, pedal, manubrio sean adecuadas para el confort al momento de manejar la bicicleta.

Los parámetros arrojaron valores en el diseño y así mismo se trazó un triángulo que fue sometido a variables del diseño, tratando de no alterar demasiado el triángulo, ya que en función de esté las modificaciones tanto de tamaño o dimensión que se hicieran debían buscarse sin alterar las dimensiones del triángulo, de tal manera que al hacer modificaciones diversas en dimensión, si se cuidaba la forma y tamaño del triángulo, la bicicleta no perdería comodidad. El triángulo se visualiza en color rojo, figura 31.

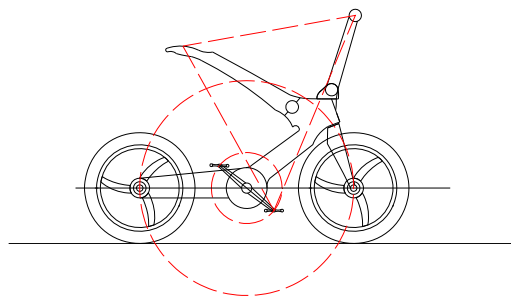




**Figura 31.** Triángulo de confort.

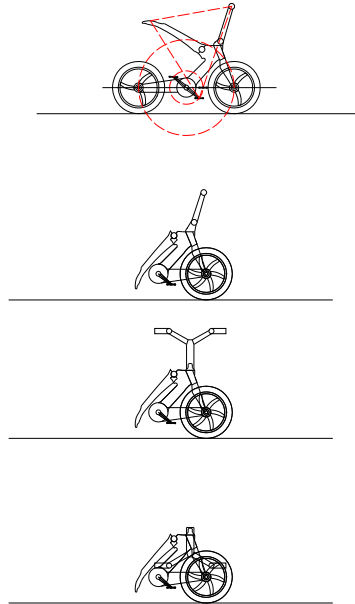
De este diseño, se propuso con una rodada 20 pulgadas se hizo un pequeño Dummie en cartón, el cual hizo notar que la rodada 20 pulgadas sería perfecta en cuestiones de comodidad y quizás para la cajuela de un auto compacto, pero no así la propuesta de llevarlo en transporte publico en una hora pico.

Asimismo se tomó la decisión que este diseño sería en base a una de las rodadas comerciales más pequeña para bicicleta, rodada 16 pulgadas, así y con pequeñas modificaciones para esta rodada se llegó al siguiente dimensionamiento, ya en rodada 16 pulgadas, el cual fue plano base para trabajar todas sus partes y componentes figura 32.



**Figura 32.** Plano base.

Igualmente se propuso un sistema de plegado, en el cual el eje del pedalier fuese el que rotará mediante un desacople y un desplazamiento para llevar la llanta trasera justo al eje de la llanta delantera, como se muestra en la figura 33.

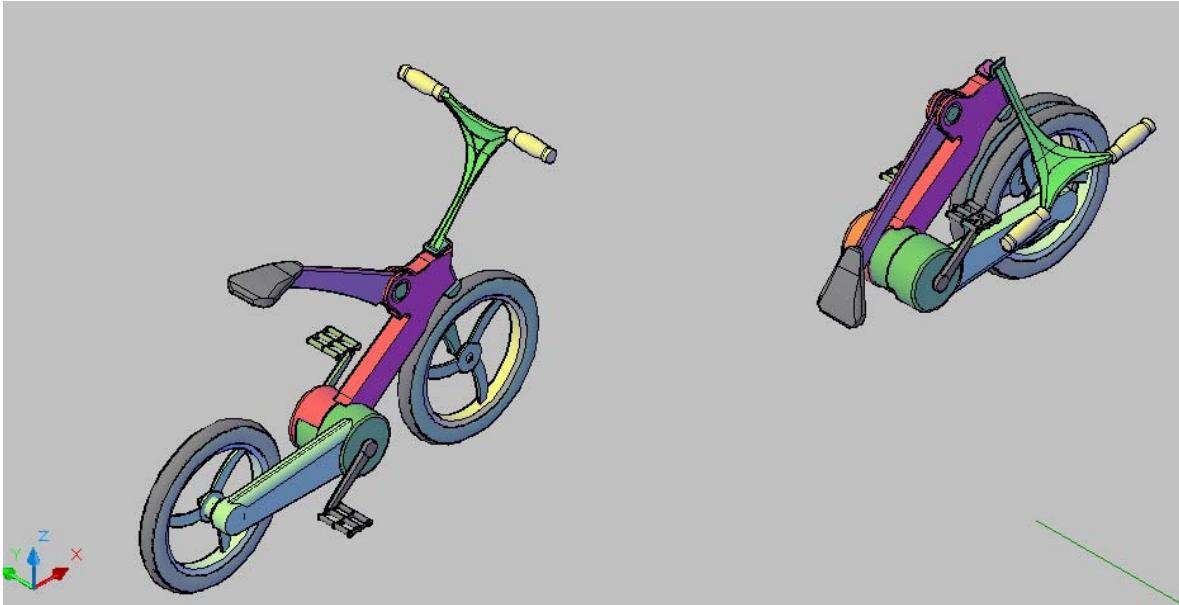


**Figura 33.** Plegado.

En la figura 33 se muestra como la llanta de atrás es rotada desde el eje del pedalier hasta la llanta delantera, después el manubrio rota y se dobla hacia la llanta, la parte del asiento se dobla hacia el pedalier.

Por cuestiones de análisis y comportamiento del brazo que conforma el asiento o sillín, solo se plantea, ya que es aquí donde se generan grandes esfuerzos, por el voladizo que maneja, por tal es recomendable para el diseño del prototipo sea un elemento rígido no plegable y posteriormente proponer un sistema de plegado, dando la posibilidad de si queda como sistema rígido este puede ser usado a manera de maleta tipo Trolley o Belize para su traslado, sujeta desde el sillín.

Para plantear una base del diseño y así poder generar los demás elementos de la bicicleta, se hizo un diseño el cual permitiría en base a éste diseñar sus componentes que lo comprenden, figura 34.



**Figura 34.** Diseño base.

Así mismo se muestran planos de los componentes del diseño propuesto. Para poder ser mejor identificados se muestran con diferentes colores para su mejor visualización en las siguientes figuras 35, 36, 37, 38, 39, 40 y 41.

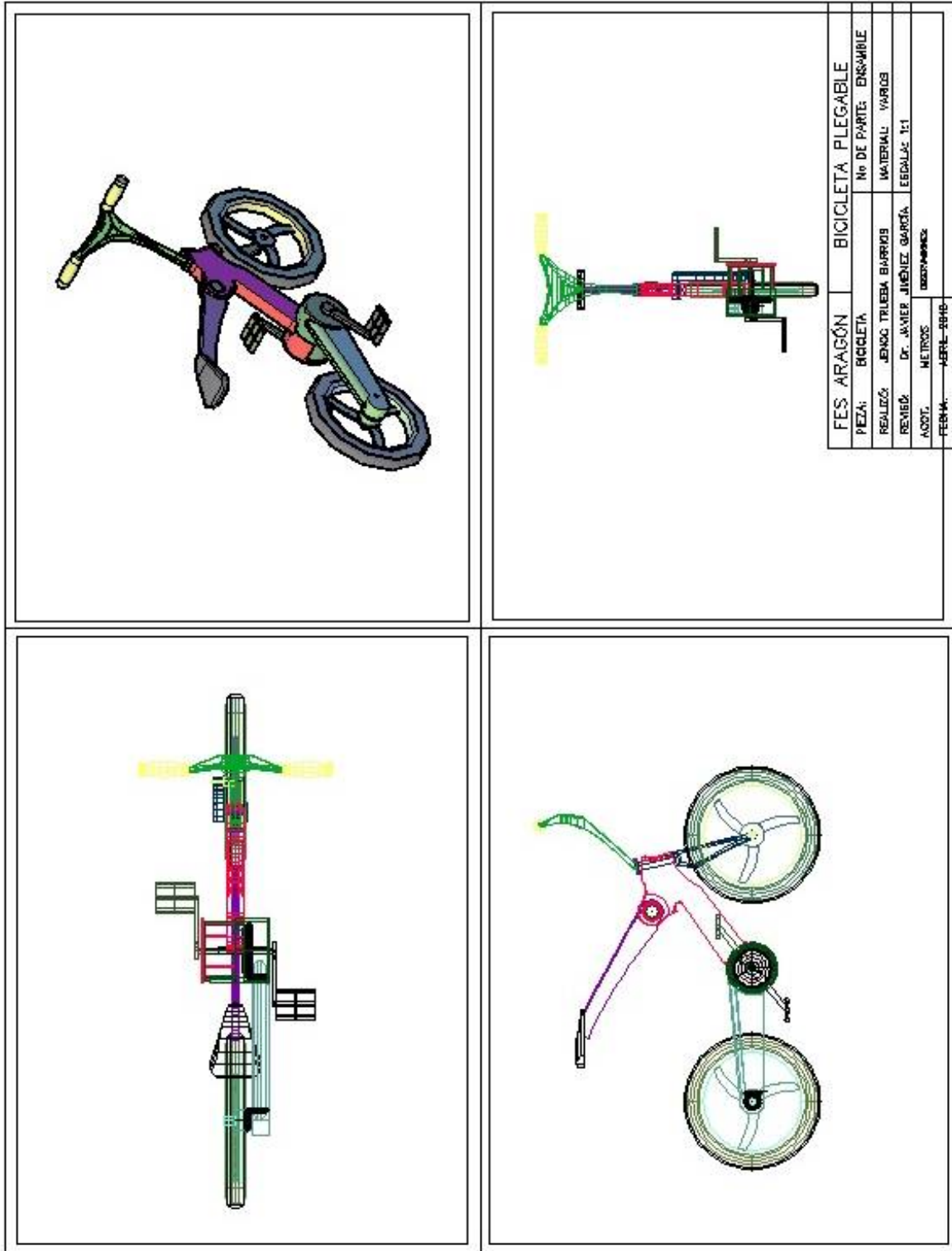


Figura 35. Plano uno.

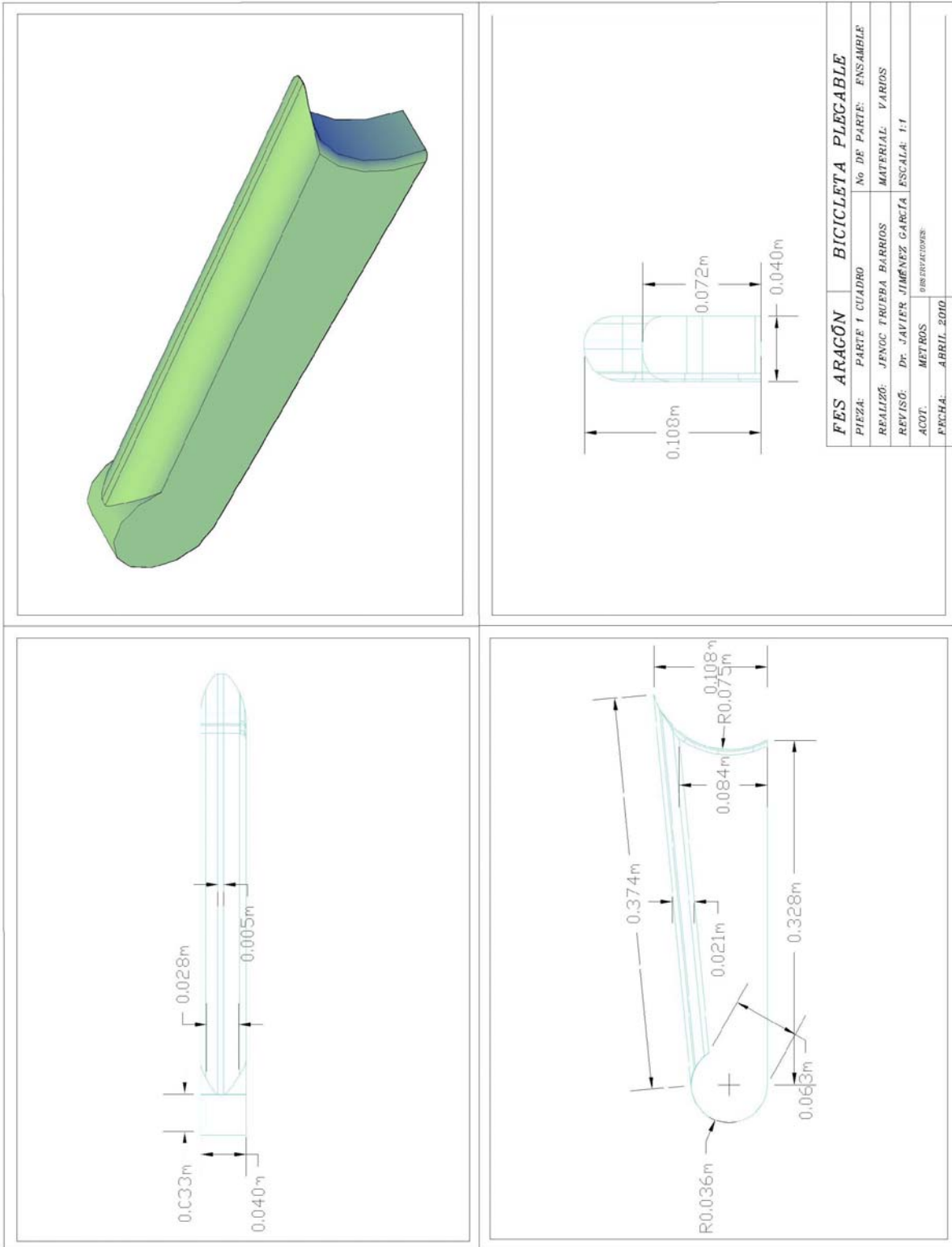


Figura 36. Plano dos.

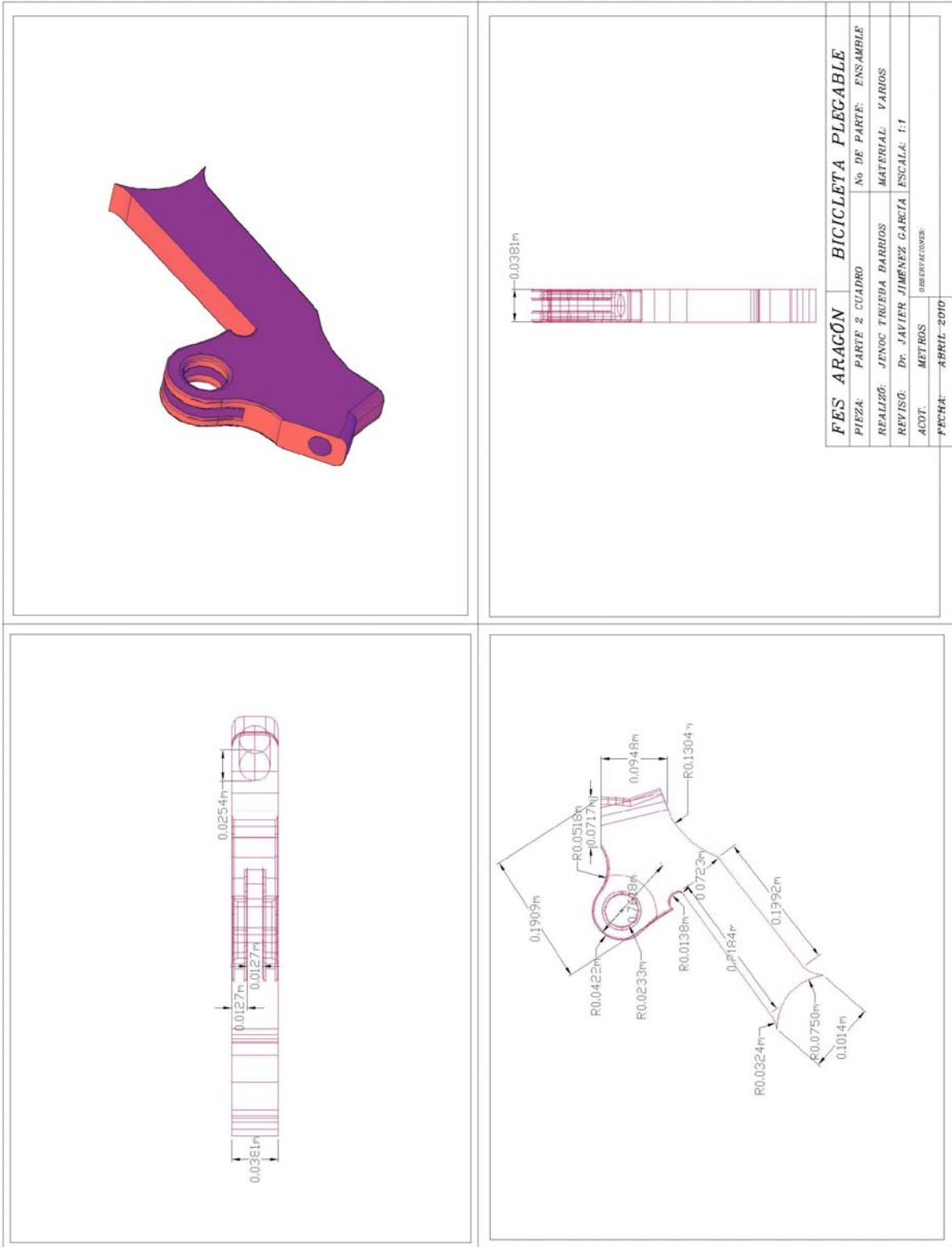


Figura 37. Plano tres.

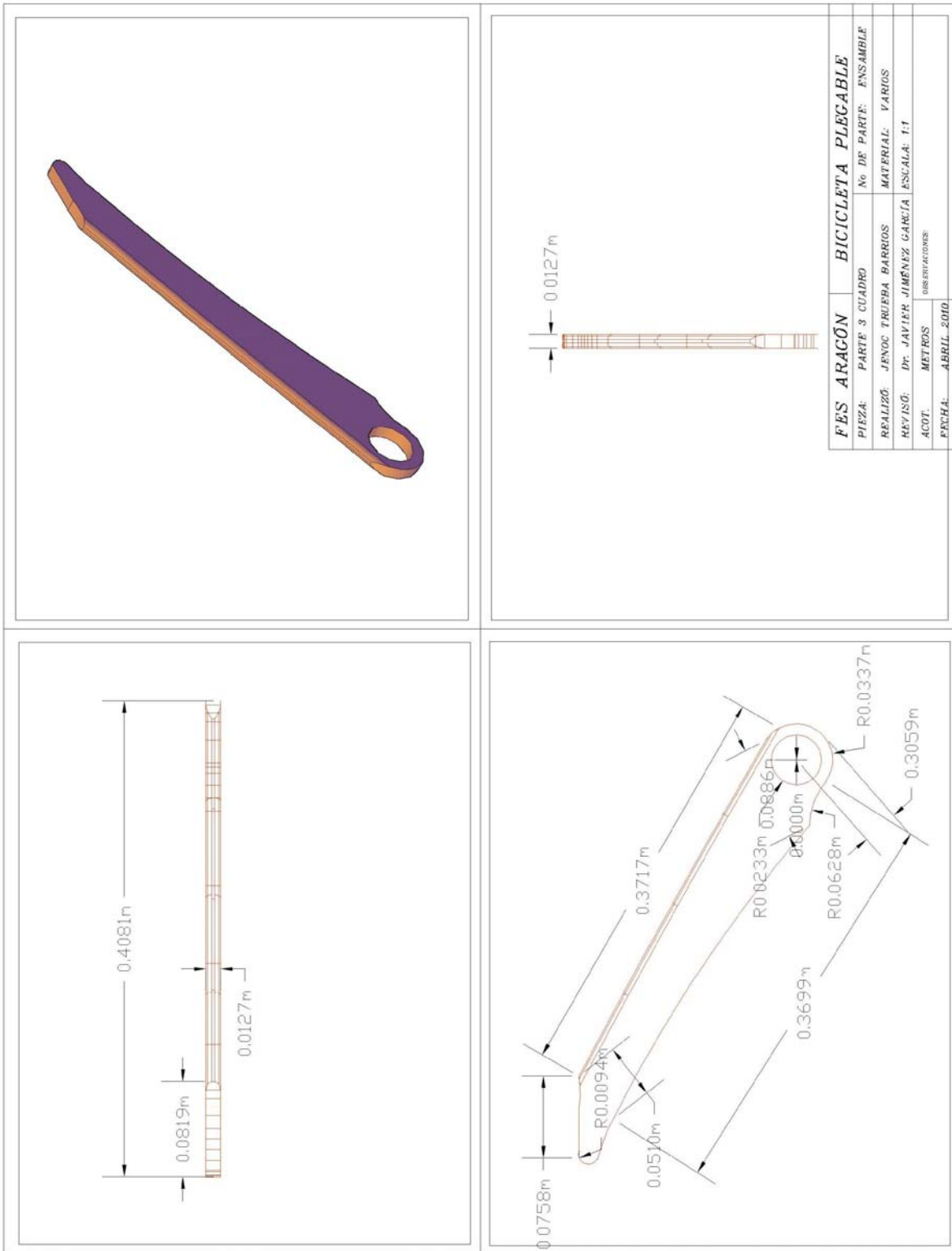


Figura 38. Plano cuatro.

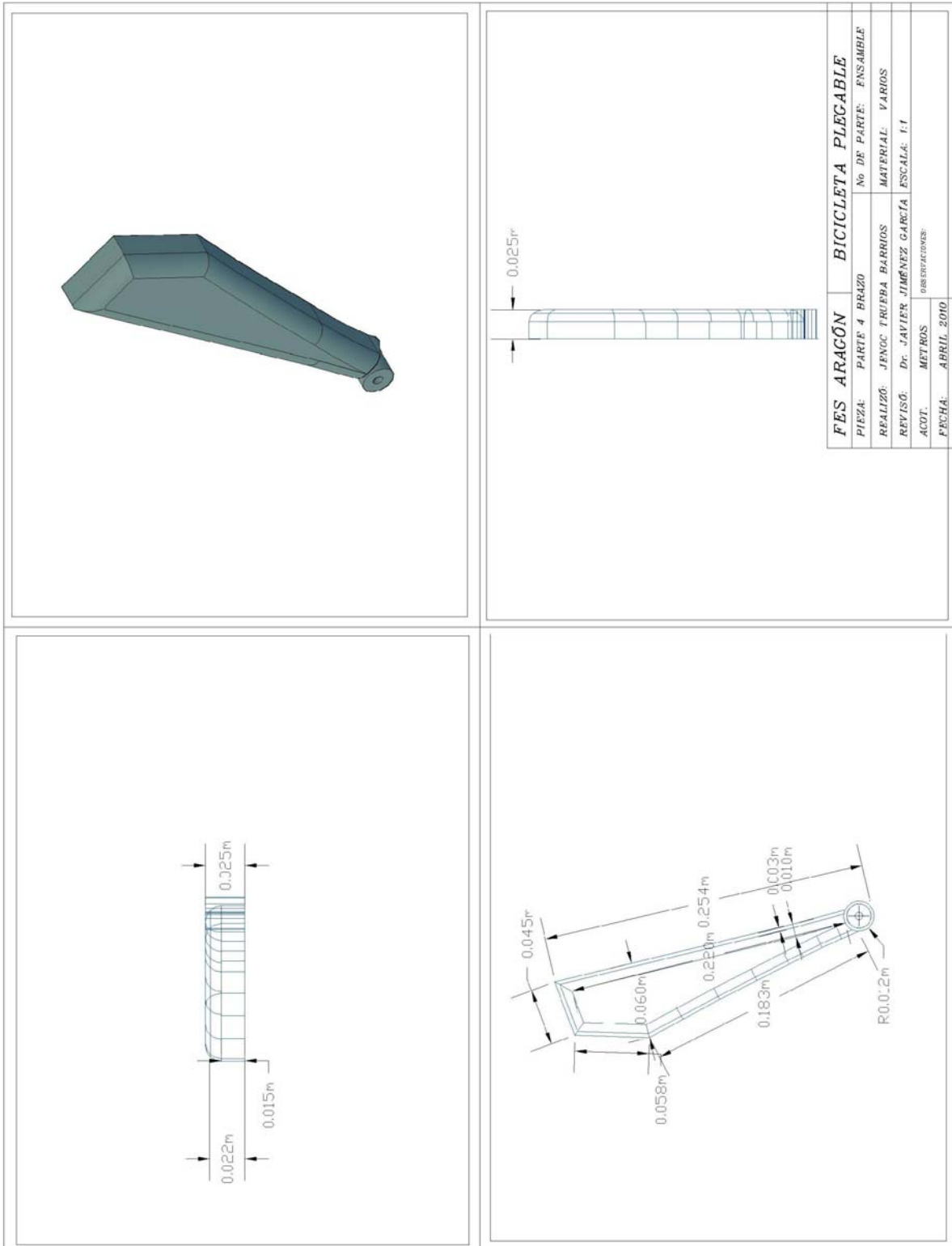


Figura 39. Plano cinco.



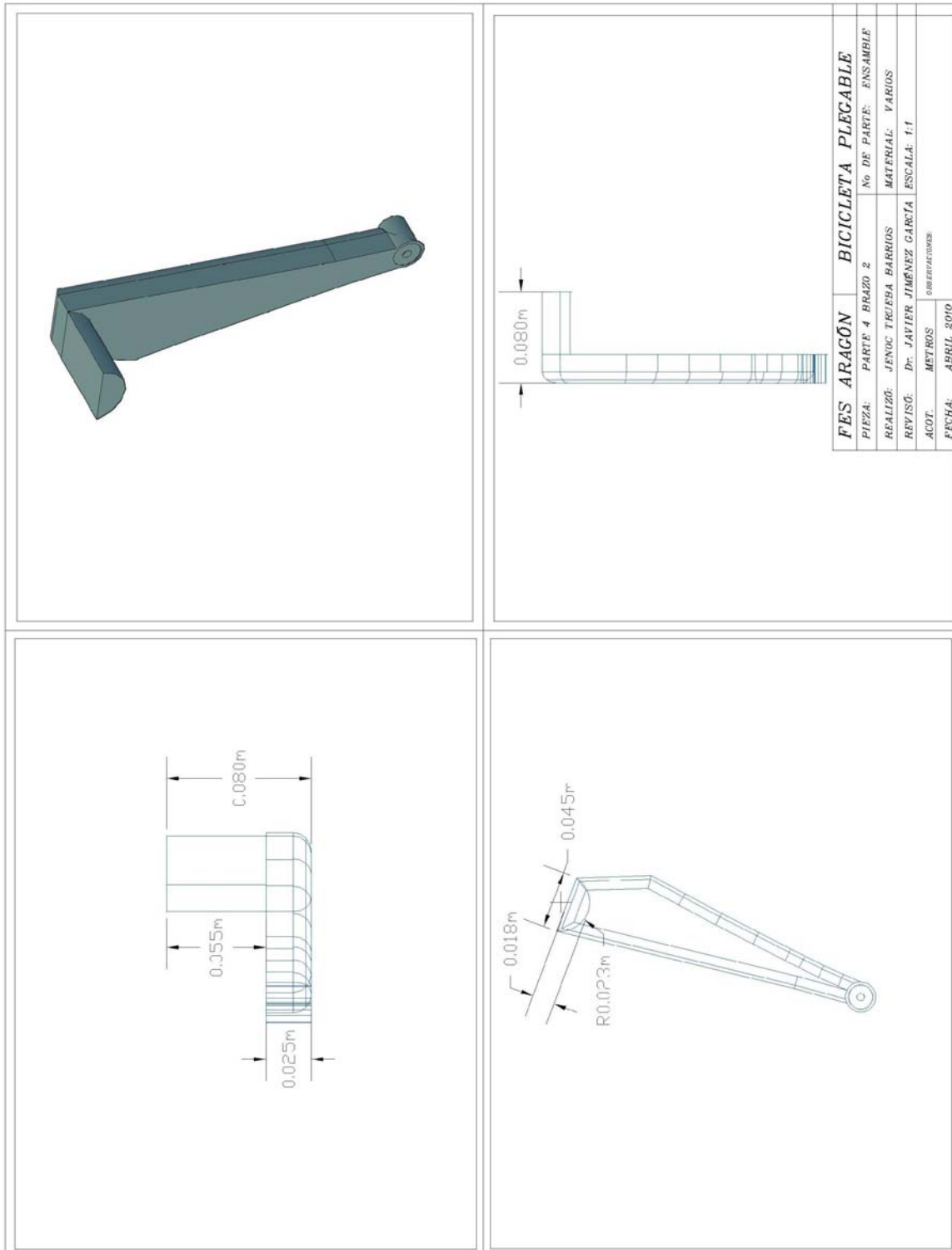


Figura 40. Plano seis.

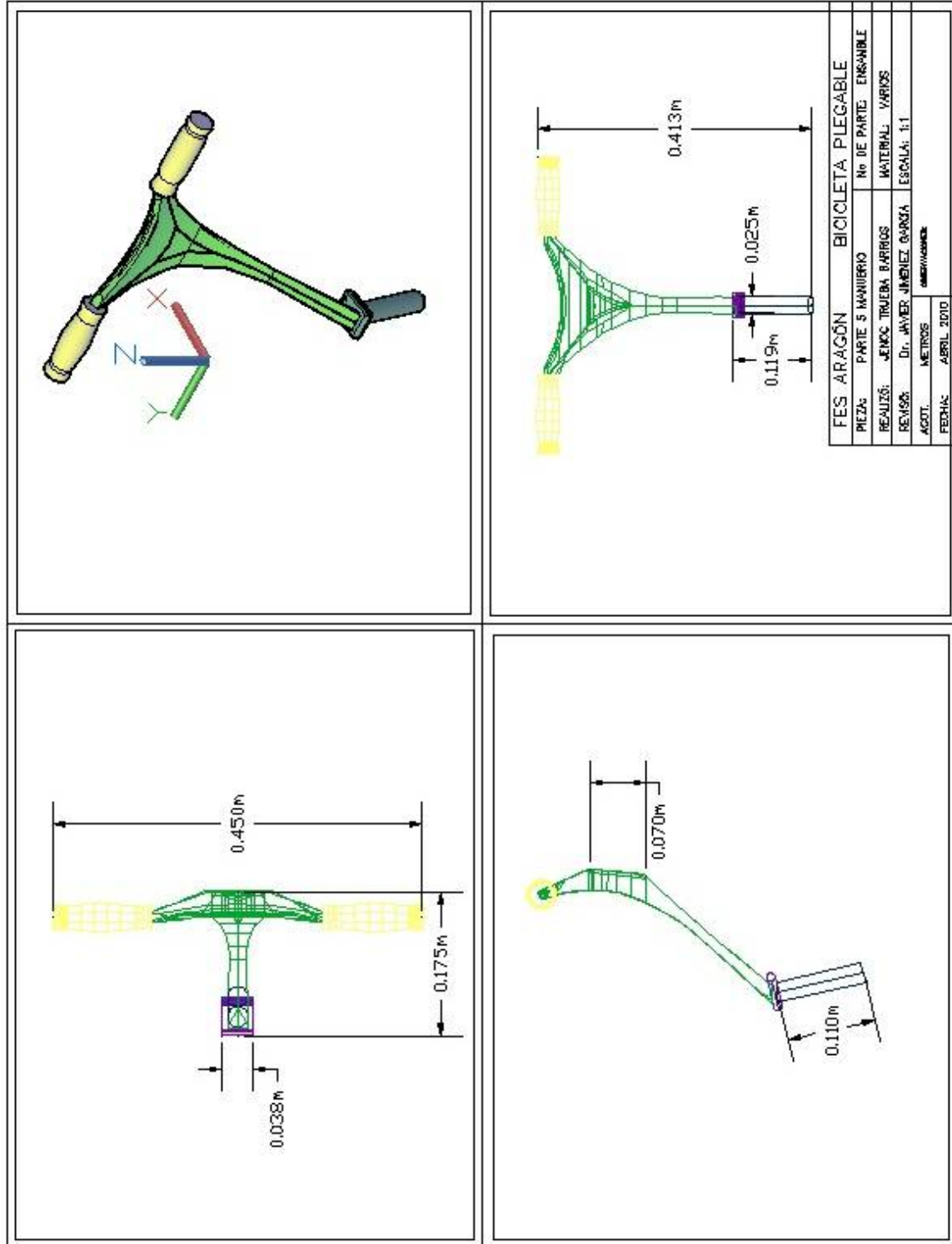
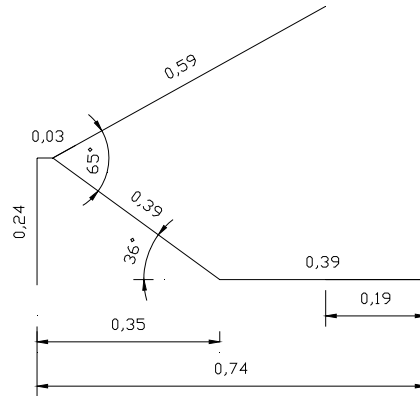


Figura 41. Plano siete.

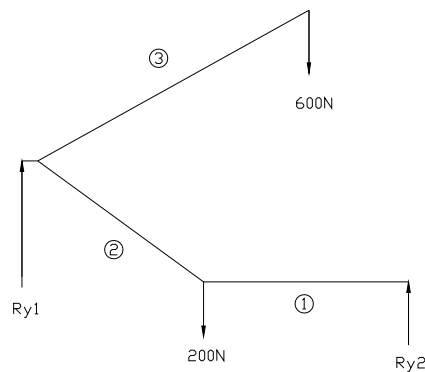
### II.6.6.1. Análisis de fuerzas en la estructura

A continuación se propone un sistema de análisis de sistema alámbrico, en el cual una línea de acción de la estructura es donde actuarán puntualmente todas las fuerzas de la misma, figura 42.



**Figura 42.** Modelo alámbrico.

El diagrama de cuerpo libre queda expresado por dos fuerzas que actúan una en el pedaliar y otra en el sillín, las cuales representan el peso del ciclista de 80 kg acelerado por la fuerza de gravedad de  $10 \text{ m/s}^2$  arrojando 800 Newtons que es el valor comúnmente usado para el análisis de cuadros para bicicletas, figura 43.



**Figura 43.** Diagrama de cuerpo libre.

En el diagrama de cuerpo libre se separa en tres elementos importantes para su posterior análisis, elemento por elemento, quedando las fuerzas resultantes de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}\sum M_{R_{y1}} &= 0 \\ -R_{y2}(0.74m) + 200N(0.39m) + 600N(0.19m) &= 0 \quad \dots(64) \\ 78N \cdot m + 114N \cdot m &= R_{y2}(0.74m) \\ \frac{192N \cdot m}{0.74m} &= R_{y2}\end{aligned}$$

$$R_{y2} = 259.45N$$

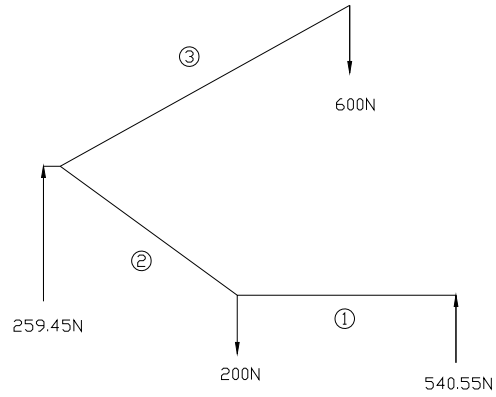
$$\begin{aligned}\sum F_Y &= 0 \\ R_{y2} - 200N - 600N + R_{y1} &= 0 \quad \dots(65) \\ R_{y2} + R_{y1} - 800N &= 0 \\ R_{y1} &= 800N - R_{y2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sus. } R_{y2} \\ R_{y1} &= 800N - (259.45N) \quad \dots(66)\end{aligned}$$

$$R_{y1} = 540.55N$$

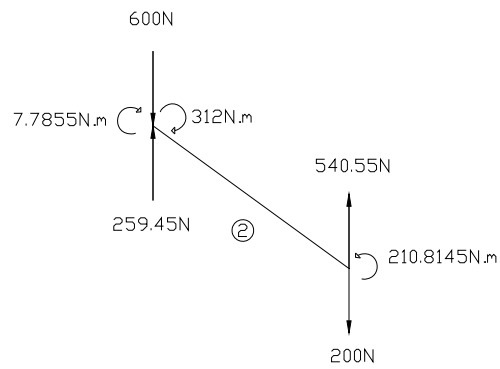
Se observa que la resultante Ry2 que es la de la llanta trasera es mayor a la resultante Ry1 que se encuentra en la llanta delantera, esto favorecerá la tracción, puesto que es en la llanta trasera donde se realiza el arrastre promoviéndolo a óptimo, con respecto al mecanismo que se plantea, evitando entre muchas cosas que la llanta patine al momento del pedaleo.

Si se realiza una síntesis de fuerzas con fuerzas equivalentes y los momentos que estas producen al desplazarse por la estructura, tendrán la siguiente forma, figura 44.



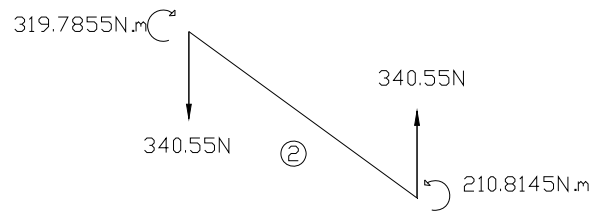
**Figura 44.** Síntesis del diagrama.

Así las fuerzas en el elemento dos quedan de la siguiente manera, figura 45.



**Figura 45.** Fuerzas elemento dos.

Sintetizando las fuerzas, figura 46.



**Figura 46.** Síntesis de fuerzas.

De la figura 46 se observa que el elemento dos es el elemento medular de la estructura, aquí se argumenta que es una de las zonas más robustas y en el diseño propuesto previamente se observa que sus dimensiones son notablemente más grandes con respecto a los demás elementos.

### II.6.6.2. Análisis especial para puntos críticos

En este punto se hace un análisis de las fuerzas que actúan sobre los elementos más importantes, pero se realizarán acomodos de las fuerzas para tenerlas perpendiculares a los ejes, de este modo se obtendrán momentos flectores máximos y fuerzas cortantes máximas, ya que en ciertos instantes en pendientes estas fuerzas podrán actuar así, perpendiculares a los ejes, dicho lo cual se propone el siguiente análisis:

#### a) Elemento 1

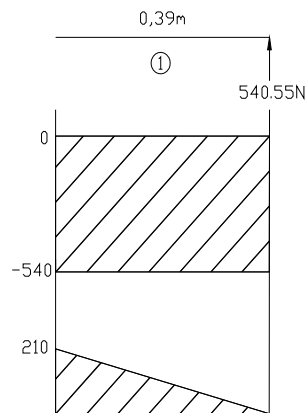
En la figura 44 se observa como trabajan las fuerzas en toda la estructura, si separamos el elemento número uno con su respectiva fuerza, se puede hacer un análisis de momentos flexionantes y fuerzas cortantes mostrados en la figura 47:

$$\begin{aligned}
 & der \rightarrow izq \\
 & 0 \rightarrow 0.195m \\
 & \sum F_y = 0; \\
 & V + 540.55N = 0 \qquad \dots(67) \\
 & V = -540.55N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum M = 0 \\
 & -M + 540.55N(0.195m) = 0 \qquad \dots(68) \\
 & M = 105.40N \cdot m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 0 \rightarrow .39m \\
 & \sum F_y = 0; \\
 & V + 540N = 0 \qquad \dots(69) \\
 & V = -540N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum M = 0 \\
 & -M + 540.55N(0.39m) = 0 \qquad \dots(70) \\
 & M = 210.8145N \cdot m
 \end{aligned}$$



**Figura 47.** Análisis elemento uno.

## b) Elemento 2

En este elemento se propone un sistema de fuerzas equivalentes como se hizo previamente, trasladando las fuerzas con su respectivo momento generado por el desplazamiento, con la restricción de que los 600 N por efecto de una pendiente el momento generado sea mayor, ya que la fuerza se ejerce perpendicularmente generando un momento máximo, el mismo que se propone para su análisis mostrado en el figura 48.

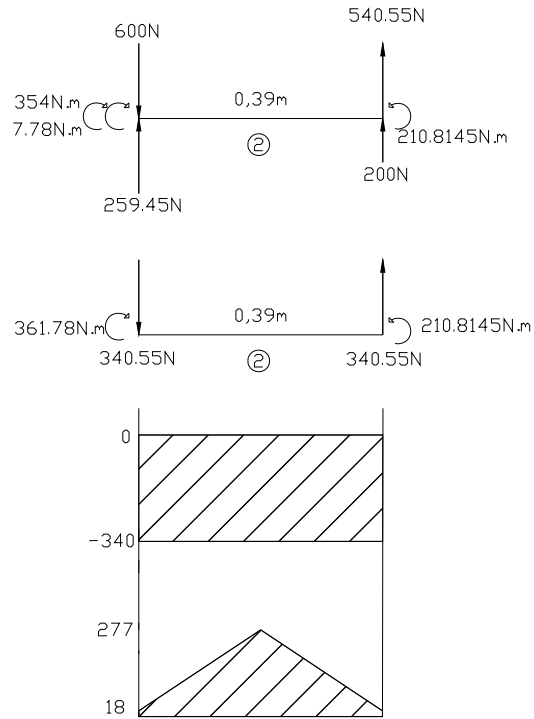
$$\begin{aligned}der &\rightarrow izq \\ 0 &\rightarrow 0.195m \\ \sum F_y &= 0; \\ V + 340.55N &= 0 \\ V &= -340.55N\end{aligned}\quad \dots(71)$$

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \\ -M + 340.55N(0.195m) + 210.8145 &= 0 \\ M &= 277.22N \cdot m\end{aligned}\quad \dots(72)$$

$$\begin{aligned}0 &\rightarrow .39m \\ \sum F_y &= 0; \\ V + 340N &= 0 \\ V &= -340.55N\end{aligned}\quad \dots(73)$$

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \\ -M + 340.55N(0.39m) + 210.8145N \cdot m - 361.78N \cdot m &= 0 \\ M &= 18.151N \cdot m\end{aligned}\quad \dots(74)$$





**Figura 48.** Análisis elemento dos.

### c) Elemento 3

Nuevamente se acomoda la fuerza pensando en que la bicicleta está en una pendiente y así tener una fuerza perpendicular con respecto a lo largo del elemento número tres, esto provocará tener un momento flexiónate máximo y una fuerza cortante máxima, así su análisis queda mostrado en la figura 49.

$$der \rightarrow izq$$

$$0 \rightarrow 0.295m$$

$$\sum F_y = 0;$$

$$V - 600N = 0$$

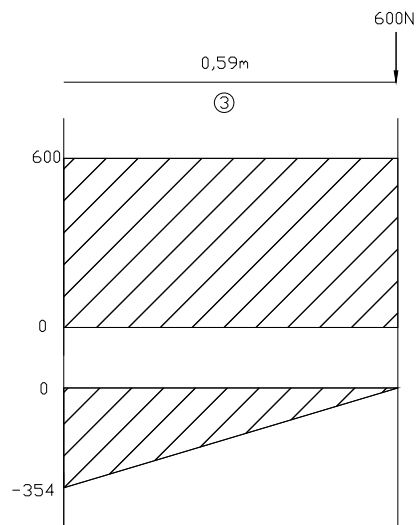
$$V = 600N$$

...(75)

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \\ -M - 600N(0.295m) &= 0 \quad \dots(76) \\ M &= -177N \cdot m\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0 &\rightarrow 0.59m \\ \sum F_y &= 0; \\ V - 600N &= 0 \quad \dots(77) \\ V &= 600N\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \\ -M - 600N(0.59m) &= 0 \quad \dots(78) \\ M &= -354N \cdot m\end{aligned}$$



**Figura 49.** Análisis elemento tres.

### II.6.6.3. Esfuerzo de diseño

Con base en la metodología del diseño, llamada esfuerzo del diseño, la cual mediante un factor de diseño  $N$  el cual da un margen de error desde 1.25 cuando es confiable el análisis a 4 cuando hay mucha incertidumbre en el análisis, además de la resistencia a la fluencia, se obtiene así el esfuerzo de diseño que estará según lo requerido por debajo de la resistencia a la fluencia, de esta forma se garantiza estar siempre en la zona elástica del material como es propio del diseño mecánico.

$$\sigma_d = S_y / N \quad \dots(79)$$

Donde:

$\sigma_d$  = Esfuerzo de diseño.

$S_y$  = Resistencia a la fluencia para el material seleccionado Al 6061 T6.

$S_y$  = 40000psi Al 6061 T6

$N$  = Factor de diseño.

$N = 3$  Típico de diseño general de maquinaria y porque existe cierta indefinición sobre los procedimientos de instalación.

Sustituyendo valores queda:

$$\begin{aligned} \sigma_d &= 40000 \text{ psi} / 3 && \dots(80) \\ \sigma_d &= 13333 \text{ psi} \end{aligned}$$

En la ecuación básica de esfuerzo:

$$\sigma = F / A \quad \dots(81)$$

Donde:

$$\sigma = \sigma_d = 13333 \text{ psi} \quad \dots(82)$$

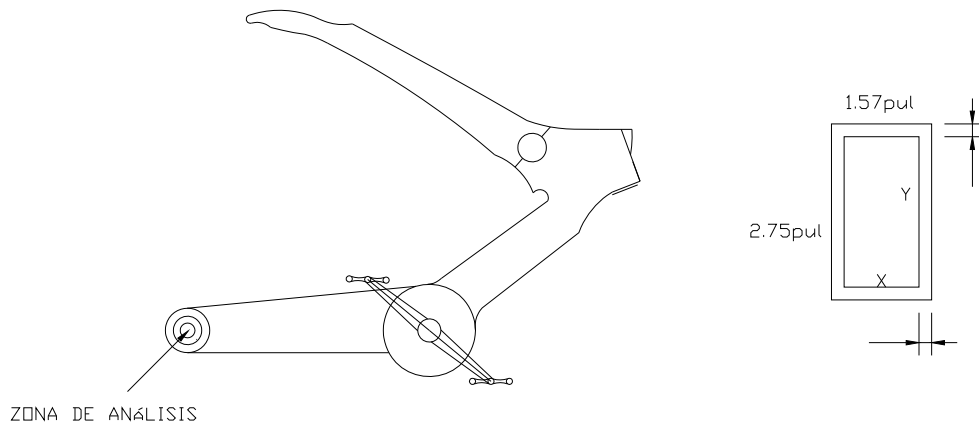
Con una fuerza de 800 N que se plantean como la carga total que soporta la estructura al aplicar los 80 kg con una aceleración de 10 m/s<sup>2</sup> y con un factor de conversión de 1 lb = 4.448 N.

$$F = 800 \text{ N} = 180 \text{ lb}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_d} = \frac{180 \text{ lb}}{13333 \text{ lb / pul}^2} = 0.0135 \text{ pul}^2 \quad \dots(83)$$

Este valor representa el área transversal mínima que deberá tener cualquiera de las zonas de la estructura, cabe mencionar que el valor carece de un análisis profundo y solo arroja un dato que servirá para tener una idea del dimensionamiento o en este caso del espesor del material de Al 6061 T6 que será necesario para la estructura.

Con base al esfuerzo de diseño y en una de las llamadas zonas críticas, que se encuentra justo donde actúa Ry1 una fuerza considerable, en la llanta trasera, debido a que en esta zona al ser una de las más importantes y a su vez, una de las más angostas con respecto a toda la estructura, se podrá obtener un espesor que servirá de parámetro para poder seleccionar el espesor adecuado para toda la estructura, figura 50.



**Figura 50.** Sección transversal de análisis.

Así el área transversal de la sección será:

$$A_{trans} = (1.57 \text{ pul})(2.75 \text{ pul}) - XY \quad \dots(84)$$

Pero el área transversal necesaria obtenida según el esfuerzo de diseño es:  $A = 0.0135 \text{ pul}^2$ , si se hace el área transversal igual al área necesaria para el esfuerzo de diseño  $A_{trans} = A$  y se sustituye en la ecuación 84.

$$0.0135 \text{ pul}^2 = (1.57 \text{ pul})(2.75 \text{ pul}) - XY \quad \dots(85)$$

$$4.3175 \text{ pul}^2 - XY = 0.0135 \text{ pul}^2 \quad \dots(86)$$

Por teorema de tales:

$$\frac{2.75}{Y} = \frac{1.57}{X} \rightarrow Y = \frac{2.75X}{1.57} \quad \dots(87)$$

Sustituyendo Y en la ecuación 86:

$$4.3175 - X\left(\frac{2.75X}{1.57}\right) = 0.0135 \quad \dots(88)$$

$$\frac{-2.75X^2}{1.57} = -4.304$$

$$-2.75X^2 = -6.75728$$

$$X^2 = 2.45719$$

$$X = 1.5675 \text{ pul}$$

Sustituyendo X en la ecuación 86 para obtener el valor de Y:

$$4.3175 - 1.5675Y = 0.0135 \quad \dots(89)$$

$$-1.565Y = -4.304$$

$$Y = 2.7457$$

Redondeando los valores la diferencia entre el rectángulo exterior con el interior es de menos de 0.01 pulg. siendo este el grosor del material necesario para cumplir con el área transversal mínima requerida.

Los calibres del material cercanos a este valor se expresan en la tabla 7.

<b>Calibre</b>	<b>Espesor pul.</b>
16	0.065
18	0.049
19	0.042
20	0.035
22	0.028
24	0.022

**Tabla 7.** Calibres del material.

Para este proyecto se seleccionará el calibre 16 siendo un calibre común en tubos cuadrados, tubos redondos y tubos rectangulares, de esta manera facilita el rediseño de un nuevo cuadro, en caso de existirlo, con base en estos prefabricados.

#### **II.6.6.4. Esfuerzo por flexión.**

Se analizará el esfuerzo máximo por flexión para el elemento 3 ya que se encuentra en flexión pura, además de ser un elemento crítico para el estudio con la formula 90 para esfuerzo máximo:

$$\sigma = Mc / I \quad \dots(90)$$

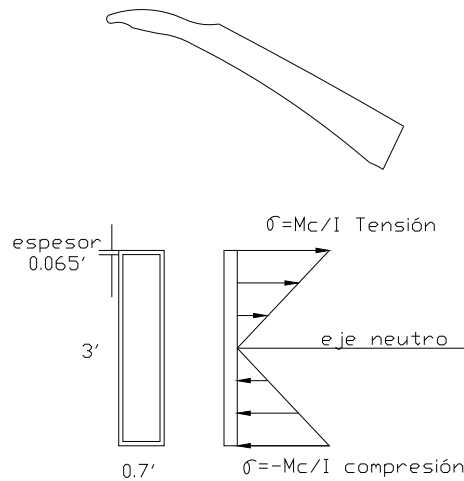
Donde:

M = Magnitud del momento de flexión en la zona.

$c$  = Distancia desde el eje neutro a la fibra mas alejada, en la sección transversal.

$I$  = Momento de inercia del área transversal con respecto a su eje neutro.

La figura 51 muestra el elemento de la bicicleta, el área en cuestión, así como el comportamiento de las fuerzas por concepto de esfuerzo en esa zona.



**Figura 51.** Esfuerzo máximo por flexión.

El espesor es el del material previamente seleccionado con un espesor de 0.065pul.

$M = 354\text{N.m}$  del análisis hecho para la viga numero 3 para puntos críticos.

$M = 354\text{N.m} = 3133\text{lb.pul}$  con factor de conversión de:  $1\text{lb.pul}=0.1130\text{N.m}$

De tablas el momento de inercia de área del rectángulo es:

$$I_x = BH^3 / 12 \quad \dots(91)$$



Así el momento de inercia de área de la sección transversal en el momento flector máximo del elemento 3 aplicando teorema de ejes paralelos o teorema de Steiner es:

$$I = 2(\bar{I}_h + A_h d^2) + 2(\bar{I}_v) \quad \dots(92)$$

Donde:

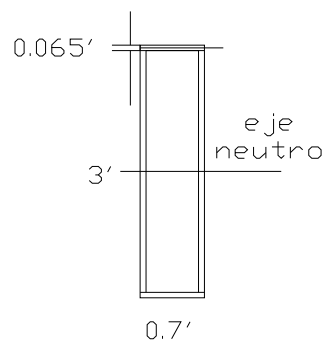
$$\bar{I}_h = BH^3 / 12 \quad \text{De alguna de las partes horizontales.} \quad \dots(93)$$

$$A_h = BH \quad \text{De las partes horizontales.} \quad \dots(94)$$

$$d^2 = (d)^2 \quad \text{Desplazamiento del eje neutro hacia el eje neutro de sección horizontal al cuadrado.} \quad \dots(95)$$

$$\bar{I}_v = BH^3 / 12 \quad \text{De alguna de las partes verticales.} \quad \dots(96)$$

La figura 52 muestra el área de la sección transversal.



**Figura 52.** Sección transversal.

Así sustituyendo se obtienen los valores de:

$$\bar{I}_h = (0.7 \text{ pul})(0.065)^3 / 12$$

$$A_h = (0.7 \text{ pul})(0.065 \text{ pul})$$

$$d^2 = (1.4675 \text{ pul})^2$$

$$\bar{I}_v = (0.065 \text{ pul})(2.87 \text{ pul})^3 / 12$$

Sustituyendo en la ecuación 92 queda:

$$I = 2 \left[ \left( (0.7 \text{ pul})(0.065 \text{ pul})^3 / 12 \right) + \left( (0.7 \text{ pul})(0.065 \text{ pul})(1.4675 \text{ pul})^2 \right) \right] + \dots(97)$$

$$2 \left[ (0.065 \text{ pul})(2.87 \text{ pul})^3 / 12 \right]$$

$$I = 0.4521 \text{ pul}^4$$

Una vez obtenido el momento de inercia del área transversal con respecto al eje neutro en la sección de análisis se puede calcular el esfuerzo flexionante máximo ecuación 90.

$$\sigma = Mc / I$$

$$\sigma = \frac{(3133 \text{ lb.pul})(1.5 \text{ pul})}{0.4521 \text{ pul}^4}$$

$$\sigma = 10394 \text{ psi}$$

Se comprueba que con este estudio el esfuerzo máximo en condiciones críticas se encuentra muy por debajo del esfuerzo de fluencia y por debajo del esfuerzo de diseño comprobando que el diseño es factible.

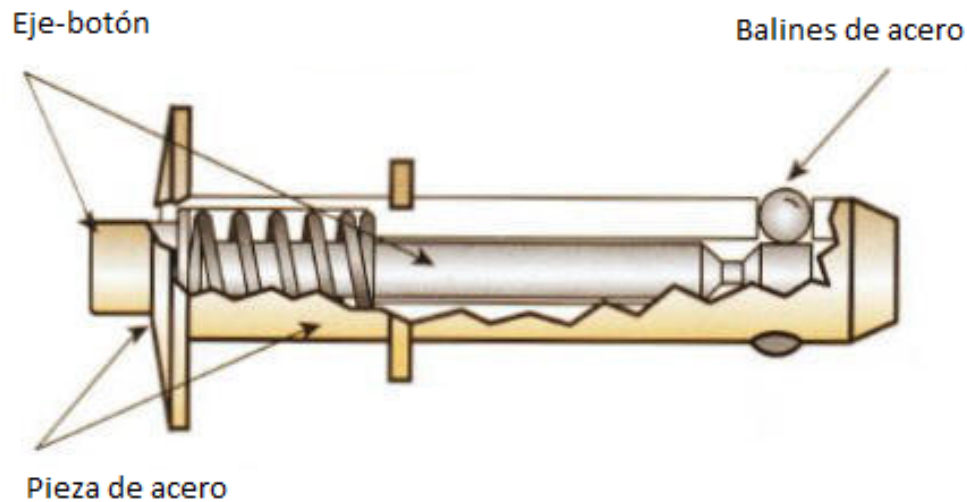
$$S_y \gg \sigma < \sigma_d$$

## **II.6.7. Mecanismo de plegado**

El sistema de plegado está compuesto por diversos componentes, existen en él los engranes y parte importante de la estructura, ya que es en el eje del pedalier donde se basa dicho sistema de plegado, para poder solucionar este problema desde el principio como propuesta de diseño de la bicicleta plegable, fue necesario una forma determinada de los tambores (parte estructural en la caja del pedalier), así como el uso del sistema de eje de desacople rápido, justamente el conjunto de estos elementos en el eje del pedalier son los que conforman el sistema de plegado.

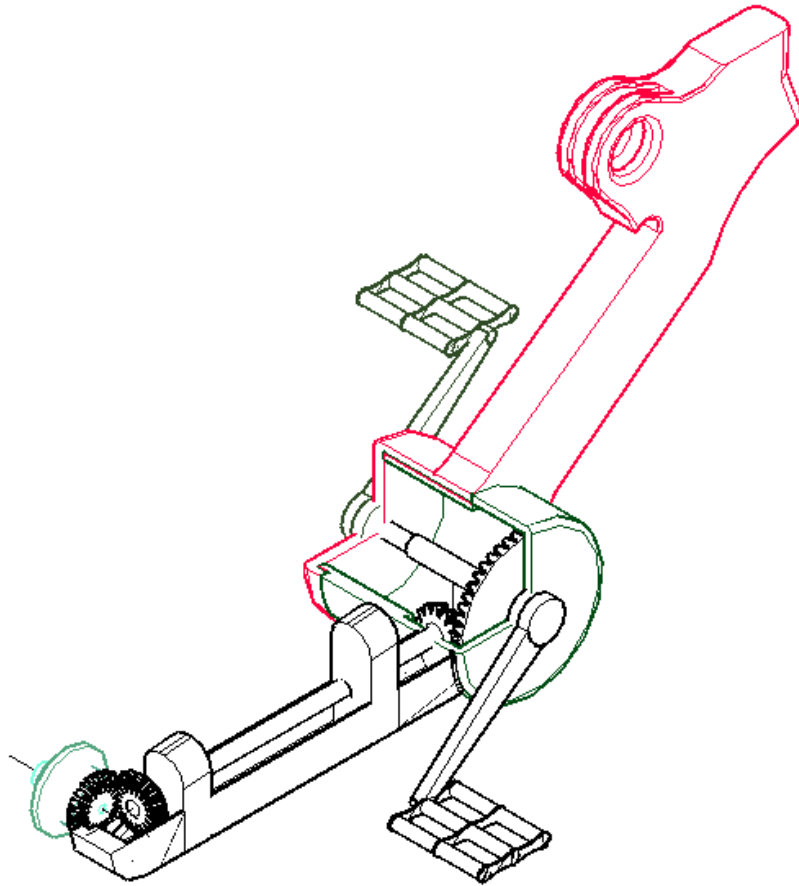
El eje de desacople rápido es un mecanismo de desmontaje, así como un elemento comercial, usado comúnmente para desmontaje de ejes, el cual se integrará al eje del pedalier mediante un cilindro que será el que lo rodea y a su vez soporta el engrane mayor o corona de 48 dientes. Este cilindro que contendrá el eje de desacople rápido, montará rodamientos y pedales para formar el pedalier.

La figura 53 explica el mecanismo del eje de desacople rápido, compuesto básicamente de dos cilindros, uno hueco que sustenta otro, el cual cuenta en un extremo con cabeza tipo botón y perfilado, un resorte entre ellos y un par de balines o bolas de acero templado.



**Figura 53.** Eje de desacople rápido, [51].

En el eje del pedalier donde se encuentra un cilindro que contiene al eje de desacople rápido contará con dos pares de orificios que atrancarán los balines del sistema, así recordando que los elementos: eje de desacople rápido, dos pares de engranes 48-13, 18-18, ejes, pedales, rodamientos, que en conjunto conforman la caja del pedalier, son mostrados en la figura 54 para describir la distribución de los mismos, y así ubicarlos a manera de su función en este diseño.



**Figura 54.** Disposición de los elementos del pedalier.

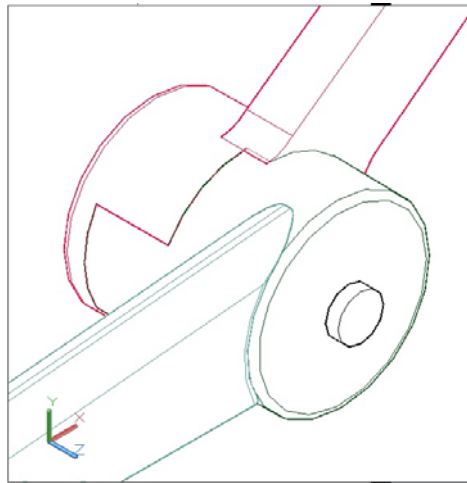
El plegado es parte de este sistema en la caja del pedalier porque es el que envuelve todos estos elementos, da soporte a manera de estructura como el cuadro y permite el plegado de la bicicleta, para poder llevar la llanta trasera mediante el eje de desacople rápido, sobre ese mismo eje, rotándolo y así tener la llanta delantera junto con la trasera ambas sobre un mismo eje.

Este sistema de plegado que es llevar la llanta trasera al eje de la delantera, es la mejor manera de ganar espacio, ya que el elemento que mas área ocupa, y por el

simple hecho que no se puede reducir, es la llanta. De tal manera se gana espacio utilizando solo el requerido de una de las llantas, en este caso la delantera.

Las siguientes figuras muestran el paso a paso, del sistema de plegado, de ésta manera se observa mejor a los tambores que dan forma a este sistema en la caja del pedalier.

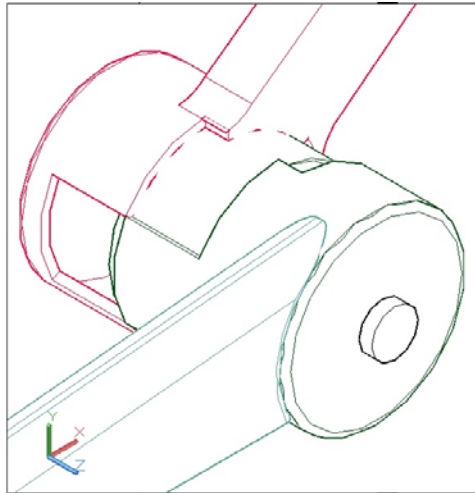
En la figura 55 se observa que los tambores, por así llamarlos, que contienen los engranes y al eje, que a su vez sujetarán los pedales con sus debidos rodamientos, son asimétricos, característica que permitirá una buena distribución de fuerzas sobre todo el elemento, recordar que estos son elementos en la estructura.



**Figura 55.** Tambores.

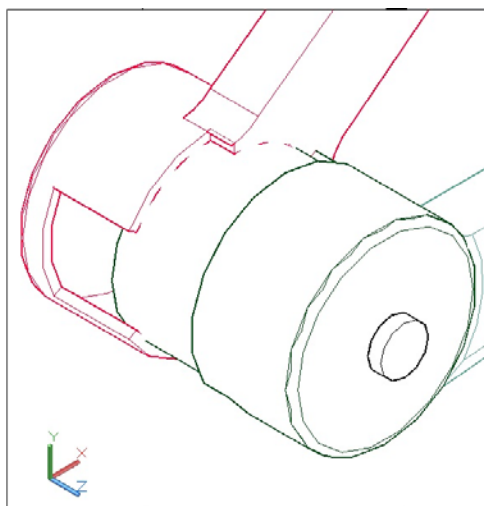
En el paso uno figura 56, se presiona el botón del desacople rápido para poder desatranca el eje, al cual está montado, así los tambores se desplazan sobre el mismo eje del pedalier una distancia de 6 cm, en esta distancia las bolas del eje de desacople rápido atranca nuevamente en una sección, con la posibilidad de

apretar nuevamente el botón, para de esta manera liberar completamente toda la estructura para mantenimiento.



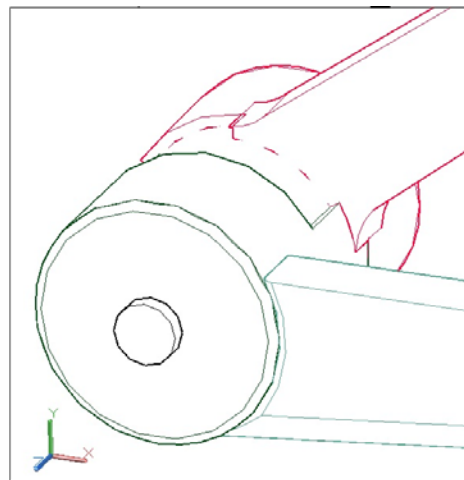
**Figura 56.** Paso uno.

En la figura 57 se muestra el siguiente paso que es rotar el tambor, que contiene el brazo y la llanta trasera, girando  $180^\circ$  en sentido antihorario sobre el eje del pedalier, hasta llevar la llanta trasera justo al eje de la llanta delantera.

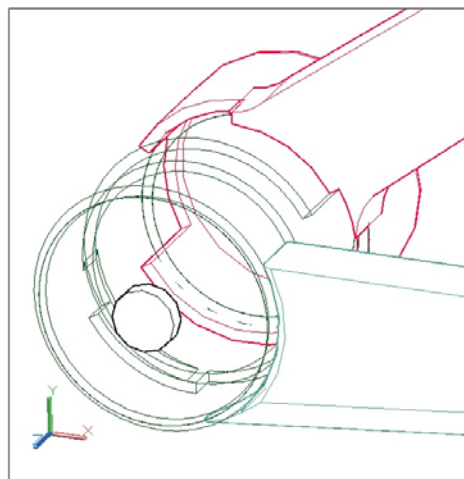


**Figura 57.** Paso dos.

Cabe resaltar que gracias a la asimetría de los tambores, es que se logra el sistema de atrancamiento, de la estructura de la bicicleta, cuando no esta plegada es decir cuando la bicicleta se encuentra como tal, un sistema capaz de rodar con una persona encima y es gracias a la asimetría de los tambores que las fuerzas que ahí se ejercen se distribuyen de mejor manera. La figura 58 es otra vista del sistema ya plegado, asimismo la figura 59 muestra un modelo alámbrico de uno de los tambores para su mejor visualización.



**Figura 58.** Vista paso dos.

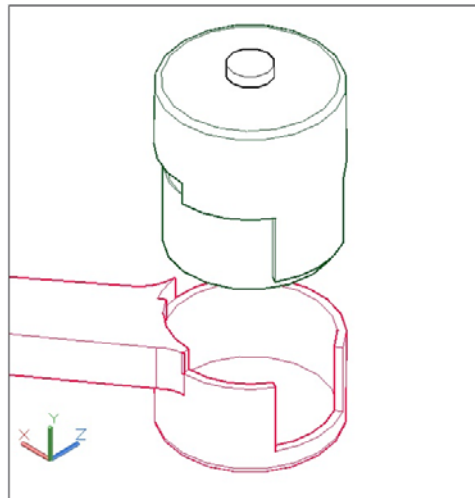


**Figura 59.** Alámbrico.



También el sistema de plegado es gracias a la asimetría entre sus piezas permitiendo girarlas cuando se hace el respectivo desplazamiento y a su vez quedar bien ancladas para soportar el conjunto de fuerzas que ahí se desarrollan.

La figura 60 muestra un despiece de los tambores, en ellos se percibe dicha asimetría de la cual se ah hablado. Cabe resaltar que los tambores junto con el sistema eje de desacople rápido, en conjunto son los que mantienen siempre unida a la bicicleta, ya sea plegada o desplegada y sólo en el completo deslizamiento o desmontaje del sistema eje de desacople rápido es como se pueden separar para mantenimiento de los engranes, ejes, rodamientos, etc.



**Figura 60.** Despiece.

### **II.6.8. Elementos comerciales**

Los elementos comerciales para las bicicletas son vastos y en este caso para la bicicleta plegable, debido a que en el mercado actual existen muchas y diversas opciones para un mismo elemento, siendo las diferencias: calidad, marca, precio, diseño.

Actualmente para una misma pieza de una bicicleta como se ha dicho hay una infinidad de opciones y resumiendo prácticamente se basan en calidad y precio, aun así existen buenos elementos considerados de bajo costo.

Cuando se inicio esta investigación se hizo un pequeño estudio en un famoso pasaje conocido en la Ciudad de México, en el cual existen diversos proveedores de bicicletas y sus refacciones. El panorama que arrojó este pequeño estudio fue precisamente que existen muchos elementos comerciales para la bicicleta, con diferencias primordialmente en el precio, ejemplos claros existen en los sillines que van desde los quince pesos hasta los tres mil pesos.

De manera concreta desde un principio al hacer este estudio se determinó que elementos comerciales vastos de la bicicleta no valían la pena desarrollarse desde cero, debido a la amplia variedad de estos elementos en todos los sentidos se estipulo de manera directa que estos sólo se implementarían o ajustarían a este diseño.

El hecho de diseñar cada uno de estos elementos demandaría su respectivo estudio, el cual desde un principio se decidió, no valía la pena ya que son motivo para otra investigación, ya que en está se podrán usar los existentes actualmente.

Elementos como sillín, agarraderas, pedales, ruedas, rodamientos, frenos, etc. que existen una infinidad de ellos, solo serían ajustados al diseño dejándolos pendientes para el momento del diseño del prototipo, seleccionar los más convenientes con respecto a ese momento en factibilidad y costo dependerán de ello, por el hecho de que son elementos regulados para su uso en bicicletas.

### **II.6.9. Validación experimental**

El objetivo de esta validación experimental es comprobar los resultados obtenidos por esta investigación, asimismo validar el diseño propuesto de la bicicleta plegable mediante la construcción de elementos a manera de prototipos y conceptos que se muestran por razón de elementos del CAD, recordando el eje rector de esta investigación.

La realización del Dummie ayudó a la selección del tamaño de las ruedas, dejando ver, como se ha mencionado, que una bicicleta plegable rodada 20 pulgadas para las llantas, está bien para una cajuela de un coche, incluso uno compacto, pero no para ir en transporte público, por tal se seleccionó la rodada 16 pulgadas como la optima. Las siguientes son imágenes del Dummie realizado, figura 61 y 62.



**Figura 61.** Dummie.



**Figura 62.** Dummie.

La parte del mecanismo que consiste en los engranes, eje, chumaceras, fueron realizados y montados sobre una bicicleta de la misma rodada. De esta manera fue posible comprobar que el mecanismo funcionaba como lo previsto. A continuación se muestran imágenes del mecanismo, figuras 63 y 64.



**Figura 63.** Mecanismo.



**Figura 64.** Montaje.

Las figuras 65, 66, 67 y 68, demuestran el producto de esta investigación elaboradas mediante el CAD mostrando propuestas cromáticas inteligentes de la bicicleta plegable.



**Figura 65.** Bicicleta plegable inteligente 1.



**Figura 66.** Bicicleta plegable inteligente 2.



**Figura 67.** Bicicleta plegable inteligente 3.



**Figura 68.** Bicicleta plegable inteligente 4.



**Figura 69.** Bicicleta plegable inteligente 5.

## Conclusiones

1. Con base en la metodología de la investigación se diseñó una bicicleta plegable urbana, que permite el traslado de personas en trayectos menores a 5 km., que satisface las necesidades iniciales planteadas en el proyecto.
2. La bicicleta plegable cuenta con un diseño inteligente, ergonómico, cromático, con materiales muy ligeros y resistentes.
3. El mecanismo de tracción diseñado para la bicicleta plegable (caja de pedales) evita el uso de lubricantes o aceites por las características favorables del material empleado para su fabricación, Nylamid SL; ya que en comparación con los aceros es un material muy ligero y resistente al desgaste.
4. Cabe destacar que el mecanismo de tracción fue diseñado para optimizar la relación de pedaleo con respecto a la distancia en relación a la rodada 16.
5. El mecanismo se planteó como una caja reductora para favorecer la distancia a recorrer y el arrastre, con el objetivo de optimizar la tracción en la llanta trasera, ya que su función es la de impulsar el sistema en general.
6. Con base en el análisis matemático, la selección de materiales determinada y las pruebas de validación experimental, se demostró que el mecanismo de tracción funciona adecuadamente para las condiciones de operación planteadas en los requerimientos.
7. El costo de inversión para esta investigación se encuentra por debajo de los \$6,000.00 00/100 MN, costo máximo propuesto en los requerimientos iniciales.



8. El proyecto permite demostrar que las universidades pueden incidir con éxito en aspectos tan importantes, como es la innovación tecnológica en el diseño de bicicletas plegables, inmersos en un contexto de mayor conciencia de investigación en el país, implementando acciones y ubicando los requerimientos esenciales que benefician el uso de trasportes alternativos urbanos, mediante sistemas no contaminantes, favoreciendo la salud, promoviendo el acondicionamiento físico y reduciendo la enorme dependencia tecnológica.

## Bibliografía

- [1] Escuela Interamericana de Administración Pública, "Proyectos de transportes: Planificación e implementación", Fundación Getulio Vargas, Banco Interamericano de Desarrollo, Editorial Limusa, volumen IV, México, 1982.
  
- [2] Ortúzar Salas, Juan de Dios, "Modelos de demanda de transporte", Facultad de ingeniería, Escuela de Ingeniería, Ediciones Universidad de Chile, Colección textos Universitarios, 1era edición, Santiago de Chile 1998.
  
- [3] Cal y Mayor, Rafael, Cárdenas, James, "Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones" Alfaomega, 7ª edición, México, 1994
  
- [4] Hans Jonas, *El principio de responsabilidad. Ensayo de una ética para la civilización tecnológica*, Empresa Editorial Herder, Barcelona 1995.
  
- [5] Edwards, K.S.; McKee, R.B. "Fundamentals of Mechanical Component Design". Ed. McGraw-Hill. 1991.
  
- [6] Burr, A.H., Cheatham, J.B. "Mechanical Analysis Design". Ed. Prentice Hall 1995.
  
- [7] Shigley Joseph, Edward, "Diseño en Ingeniería Mecánica", Ed. Mc. Graw-Hill, Segunda Edición, Impreso en México, 1980.
  
- [8] Edel, Jr, Henry, "Introduction to creative Design", Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1967.
  
- [9] Wallen, R.W. "Unlocking Human, Creativity", Proc. Of fourth Conference on Mechanics, Purdue University.

- [10] Dixon, J.R. "Knowledge Based Systems for design Journal of Mechanical", Vol. 117b(2), 1995
  
- [11] GRECH, Pablo. "Introducción a la Ingeniería. Un enfoque a través del diseño.", Editorial Prentice Hall, Bogotá D.C. 2002.
  
- [12] Jensen, Nicolás C.H., "Engineering drawing and design", Tomo II, Ed. Mc Graw Hill, New York, 1997.
  
- [13] Norton, Robert L, "Diseño de Maquinaria", Ed. Mc Graw-Hill, Segunda Edición, Impreso en México, 2002.
  
- [14] Hamilton Horth Mabie, Charles F. Reinholtz "Mechanisms and dynamics of machinery" Virginia Polytechnic Institute and State University 4° edition, United State of America, 1987.
  
- [15] Hamilton H. Mabie, Fred W. Ocvirk "Mecanismos y Dinámica de Maquinaria" editorial Limusa tercera edición, México, 1987.
  
- [16] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, Elliot R. Eisenberg "Mecánica vectorial para ingenieros: estática" McGraw-Hill, octava edición, 2007.
  
- [17] Joseph Edward Shigley, Larry D. Mitchell "Diseño en ingeniería mecánica" McGraw-Hill cuarta edición, 1983.
  
- [18] Ferdinand P. Beer, Elwood Russell Johnston, William E. Clausen, "Mecánica vectorial para ingenieros: dinámica" McGraw-Hill, octava edición, 2007.
  
- [19] R. C. Hibbeler, "Mecánica de materiales" Pearson educación, sexta edición, México, 2006.
  
- [20] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, John T. DeWolf, "Mecánica de materiales" McGraw-Hill, tercera edición, 2001.

- [21] Robert L. Mott, Rodolfo Navarro Salas “Resistencia de Materiales” editorial Pearson, quinta edición, 2009.
- [22] Venton Levy Doughtie, Walter H. James “Elementos de Mecanismos” compañía editorial Continental S.A. Primera edición en español, México, 1962.
- [23] A. L. Casillas, “Máquinas: cálculos de taller” Ediciones "Máquinas", 1970.
- [24] Robert L. Mott “Diseño de elementos de máquinas” Pearson educación, cuarta edición, México, 2006.

#### Páginas Web

- [25]  
[http://www.natureduca.com/tecno\\_hist\\_prehist3.php](http://www.natureduca.com/tecno_hist_prehist3.php) 11/09/07
- [26]  
[http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/Prospectiva\\_del\\_ahorro\\_de\\_energia\\_en\\_el\\_transport](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/Prospectiva_del_ahorro_de_energia_en_el_transport)  
 e 19/09/07
- [27]  
[http://mx.gotolatin.com/Info\\_s/Hbook/Xport.asp](http://mx.gotolatin.com/Info_s/Hbook/Xport.asp) 28/09/07
- [28]  
<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/continuas/economicas/bd/transp>  
 orte/vehiculos.asp?s=est&c=11298 15/10/07
- [29]  
<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/continuas/economicas/bd/transp>  
 orte/accidentes.asp?c=11304&s=est 15/10/07
- [30]  
<http://riie.com.ar/?a=45840> 19/10/07

- [31] <http://www.mundocaracol.com/bicicletos/historia.asp> 22/10/07
- [32] <http://web.educastur.princast.es/proyectos/grupotecne/asp1/investigacion/vermensaje.asp?idmensaje=2083> 28/10/07
- [33] <http://labicicleta.wikispaces.com/2.+An%C3%A1lisis+de+un+Objeto+Tecnol%C3%B3gico> 25/10/07
- [34] [http://es.wikibooks.org/wiki/Manual\\_de\\_la\\_bicicleta/Partes\\_de\\_la\\_bicicleta](http://es.wikibooks.org/wiki/Manual_de_la_bicicleta/Partes_de_la_bicicleta) 25/10/07
- [35] <http://www.bierzorutas.com/images/stories/partes.jpg> 28/10/07
- [36] [http://www.ecobicicleta.com/seguridad\\_viaria/guia.php?art=176#artic](http://www.ecobicicleta.com/seguridad_viaria/guia.php?art=176#artic) 28/10/07
- [37] [http://www.sevilla.org/sevillaenbici/contenidos/2-hazlobien/ventajas/salud\\_y\\_bicicleta.htm](http://www.sevilla.org/sevillaenbici/contenidos/2-hazlobien/ventajas/salud_y_bicicleta.htm) 30/10/07
- [38] <http://www.amtriathlon.com/2006/11/potencia-y-aerodinmica-en-el-ciclismo.html> 15/11/07
- [39] <http://home.hia.no/~stephens/aero.htm> 5/11/07
- [40] [http://ligasmayores.bcn.cl/content/view/72940/La\\_Comunidad\\_Europea\\_fomenta\\_el\\_uso\\_de\\_la\\_bici\\_y\\_la\\_calle\\_para\\_la\\_gente.html](http://ligasmayores.bcn.cl/content/view/72940/La_Comunidad_Europea_fomenta_el_uso_de_la_bici_y_la_calle_para_la_gente.html) 6/11/07
- [41] <http://www.comsoc.df.gob.mx/noticias/discursosj.html?id=1222883> 10/11/07

- [42] <http://www.eleconomista.es/mercados-cotizaciones/noticias/194726/01/70/RSC-Ciudad-de-Mexico-promueve-el-uso-de-la-bicicleta-en-un-proyecto-que-cuenta-con-la-participacion-de-los-funcionarios.html> 10/11/07
- [43] <http://machincuepa.com/?p=326> 12/11/07
- [44] [http://www.ecobicicleta.com/taller/taller\\_parts.php](http://www.ecobicicleta.com/taller/taller_parts.php) 12/11/07
- [45] <http://discursosdediseno.blogspot.com/2004/11/investigacion-pensamiento.html> 20/11/07
- [46] [http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_matem%C3%A1tico](http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_matem%C3%A1tico) 22/11/07
- [47] <http://www.scribd.com/doc/29558090/Engranajes> 15/02/08
- [48] <http://www.amarobikes.com/archivos/boletin1.pdf> 20/02/08
- [49] <http://juliocorrea.files.wordpress.com/2007/09/engranajes.pdf> 5/06/08
- [50] <http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema08.pdf> 15/06/08
- [51] [http://www.nordet.co.uk/SA%20commercial\\_pins.htm](http://www.nordet.co.uk/SA%20commercial_pins.htm) 07/05/10

## **Agradecimientos**

Quiero dar gracias a Dios por permitirme realizar este proyecto de vida que simboliza un peldaño más, esta tesis es reflejo del esfuerzo de mis padres a los cuales les estoy muy agradecido por su formación y el cariño que a su manera hoy me hacen ser el hombre que soy.

Agradezco a mis hermanos modelos a seguir de grandes seres humanos que significan para mi, Alberto por ayudarme a sacar adelante este proyecto.

Quiero extender mi aprecio y admiración a mi asesor de tesis Dr. Javier Jiménez quien con su apoyo desde un principio no solo con este proyecto sino desde inicios de la carrera confió en mí brindándome consejos técnicos, académicos, así como también de vida.

Gracias a todos y cada uno de mis amigos, ustedes que apoyaron, aconsejaron e impulsaron escuchándome cuando fue necesario ofreciendo siempre su mano o un consejo, ustedes que son ejemplo a seguir de personas diferentes y exitosas. Gracias Viridiana por todo tu apoyo, cariño e impecabilidad en esta etapa de mi vida.

J.T.B.