



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Principios de diseño de una  
bicicleta plegable hecha con  
compuesto de fibra de carbono**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecánico**

**P R E S E N T A**

Eduardo Jesús Guevara Roca

**DIRECTOR DE TESIS**

Mariano García del Gállego



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018**

# **PRINCIPIOS DE DISEÑO DE UNA BICICLETA PLEGABLE HECHA CON COMPUESTO DE FIBRA DE CARBONO.**

## **RESUMEN Y ALCANCES**

### **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **CAPÍTULO II. DISEÑOS COMERCIALES Y CONCEPTUALES DE BICICLETAS PLEGABLES.**

- 2.1 Análisis mediante Radar de Evolución.**
- 2.2 Análisis cualitativo y comparativo.**

### **CAPÍTULO III. DISEÑO Y VALIDACIÓN ESTÁTICA.**

- 3.1 Diseño conceptual. Especificaciones, requerimientos y restricciones de diseño.**
- 3.2 Diseño, selección y análisis de elementos y sistemas mecánicos**
  - 3.2.1 Medidas antropométricas.**
  - 3.2.2 Diseño del cuadro (Estructura).**
    - 3.2.2.1 Análisis estático bidimensional del cuadro.**
    - 3.2.2.2 Diseño conceptual en CAD de la estructura**
  - 3.2.3 Diseño conceptual de sistema de transmisión.**
  - 3.2.4 Selección de elementos y accesorios.**
  - 3.2.5 Estimación final del diseño**

### **CAPÍTULO IV. COMPUESTO DE FIBRA DE CARBONO.**

- 4.1 Materiales compuestos de matriz polimérica.**
- 4.2 Fibra de Carbono.**
- 4.3 Resina Epoxi.**
- 4.4 Compuesto de Fibra de Carbono.**

### **CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES**

- 5.1 Comparaciones.**
- 5.2 Evaluación, Conclusiones y Recomendaciones.**

## RESUMEN Y ALCANCES

El presente escrito explora algunos elementos del desarrollo ingenieril de un vehículo plegable de ciclismo urbano, y contiene sectores de investigación, diseño, análisis y validación del vehículo. El objetivo final es tener un vehículo de ciclismo que sirva para transportar una persona en distancias cortas (menor a 3 km) y que pueda ser transportable por la persona.

El trabajo está dividido principalmente en tres partes:

- 1) Investigación y estudio del material compuesto de Fibra de Carbono y resina epoxi, en la cual se ahonda principalmente en las características mecánicas de dicho material y se comparan con las del aluminio y acero más comerciales. El objetivo principal de esta primera parte es tener datos generales del material que serán usados para el análisis mecánico del vehículo.
- 2) Análisis de características físicas y mecánicas de distintos vehículos de la misma categoría. El análisis se hará a través del uso de la técnica de Potenciales de Evolución del método TRIZ, para así obtener las áreas de oportunidad clave y los objetivos técnicos para el desarrollo del vehículo.
- 3) El diseño del vehículo se realizará sistemáticamente definiendo el diseño de la forma y la función a la par. Del apartado 2, se obtendrán cualidades a igualar o mejorar de cada diseño y se tomarán como base para tener especificaciones de diseño; así se iniciará con un diseño conceptual, al cual se le harán las modificaciones necesarias para obtener un modelo mecánicamente adecuado dentro de parámetros estáticos bidimensionales. Al mismo tiempo, el diseño se hará pensando en la estética final, en el mayor uso posible de piezas convencionales y en el proceso de fabricación más simple.

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

La Ciudad de México, así como otras urbes de su categoría y condición a nivel mundial tienen actualmente un grave problema en cuanto a transporte se refiere. Dicho problema que incluye exceso de vehículos, tráfico, falta de estacionamientos, aumento de accidentes viales, etc., se deben, en gran medida, a la falta de educación vial y baja conciencia de la población en el uso de alternativas de transporte, sin embargo, en los últimos años, el gobierno de la Ciudad de México ha incentivado el uso de alternativas, especialmente el transporte público y el uso de bicicletas.

En la Ciudad de México, el Gobierno ha invertido una considerable cantidad de dinero para estimular el uso de la bicicleta dentro de la Ciudad, usando esta inversión en infraestructura vial (ciclovías), programas de préstamo de bicicletas (Ecobici), los paseos ciclistas dominicales, entre otros. Enfocándose al programa “Ecobici”, el cual contempla estaciones repartidas por la ciudad donde una persona puede rentar (con una cuota previa) una bicicleta para transportarse de una estación a otra y así evitar el uso de transporte público o privado para moverse en distancias cortas.

Cabe destacar que, en ciudades homónimas, como Guadalajara, Jalisco, que tiene características urbanas similares a la CDMX en cuanto a población y conflictos de movilidad, se ha optado por el uso de programas similares, como lo es “MIBICI”, cuyo funcionamiento es semejante a “Ecobici”.

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

# CONTENIDO CONFIDENCIAL

El diseño mecánico del producto será fundamental para explotar al máximo las propiedades del compuesto, reduciendo el uso de material y por tanto el costo de producción.

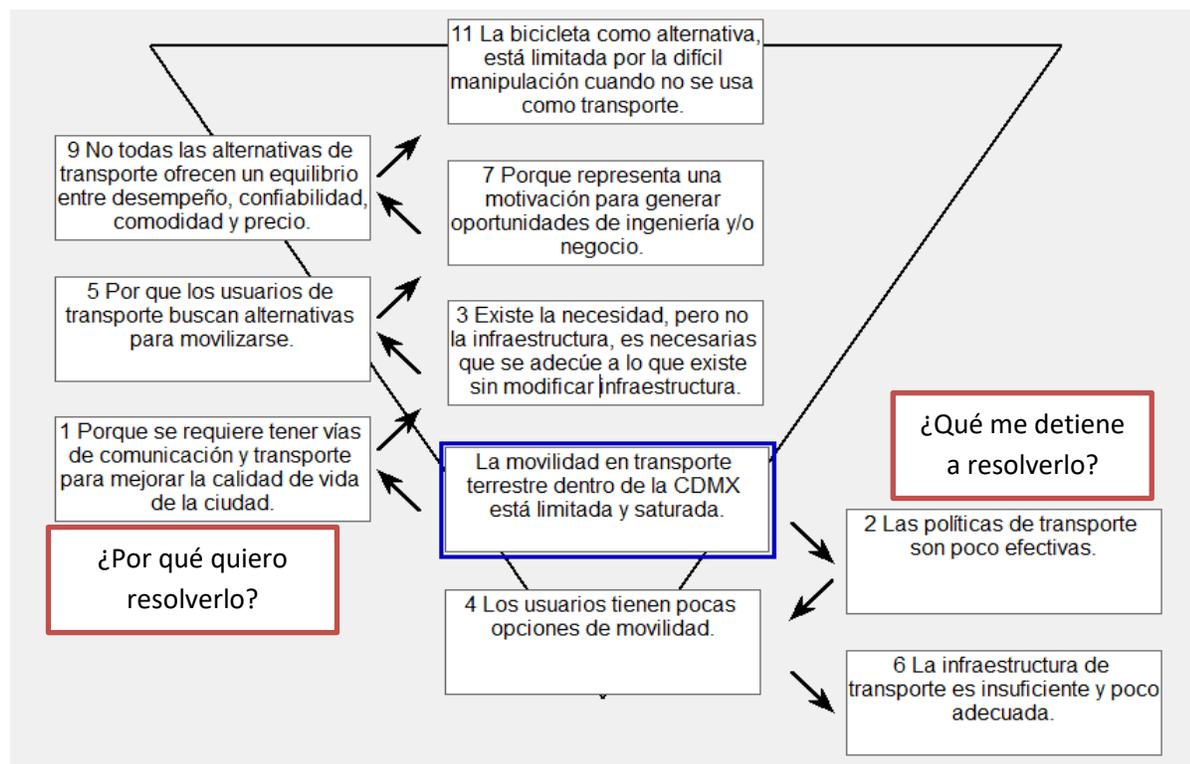
El objetivo es diseñar un vehículo de transporte urbano para uso personal, que mantenga la esencia del ciclismo, con capacidad de recorrer distancias cortas y que ocupe un volumen y peso mínimo para ser fácilmente transbordado y manipulado dentro de vehículos de transporte urbanos (públicos y privados) y que a su vez maneje una sinestesia entre el usuario y el producto, haciendo de este un artículo con potencial para entrar en el mercado de transportes urbanos.

La metodología TRIZ se utilizará para analizar la problemática indicada en un inicio. Se usará parcialmente la metodología como sistema de análisis del problema y búsqueda de soluciones adicionales, así como validación de la solución encontrada.

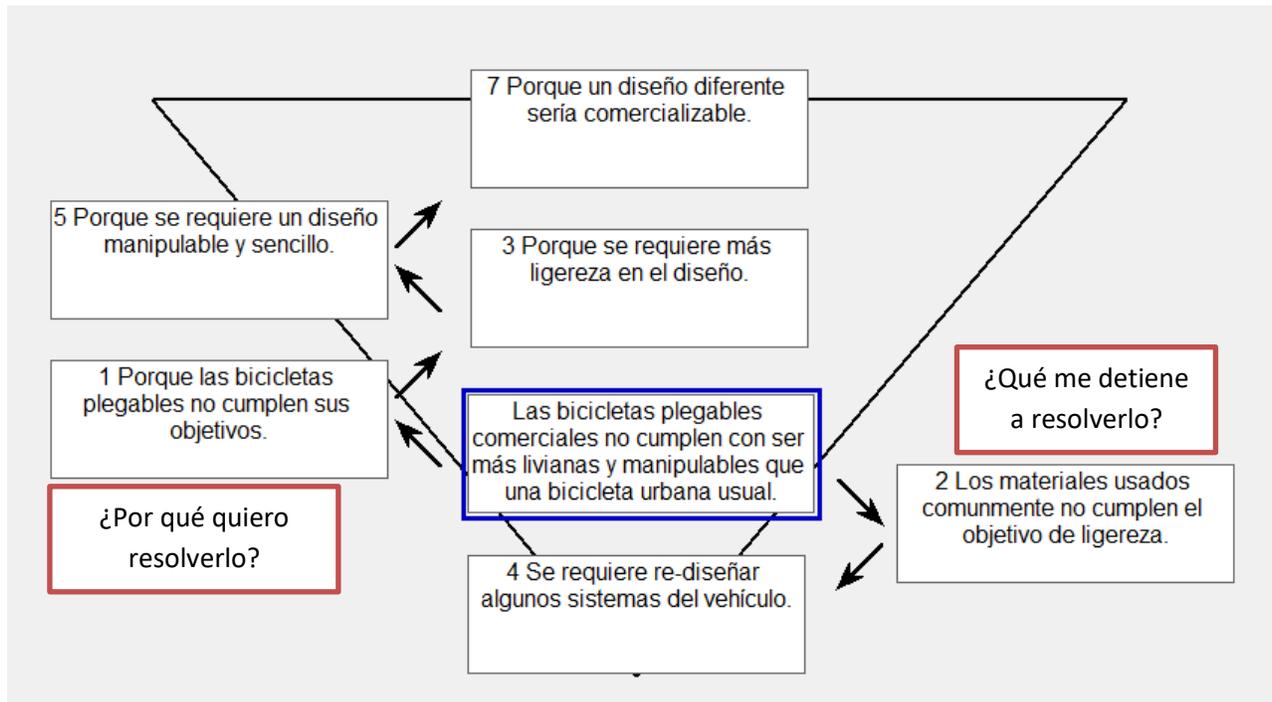
## Descripción del Problema.

Las bicicletas urbanas plegables comerciales son diseños convencionales y que no cumplen completamente el objetivo de ser más livianas y manipulables que una bicicleta urbana usual.

## Redefinición del Problema.



De este análisis se considerará que la premisa 11 es un problema solucionable mediante el uso de ingeniería mecánica y diseño.



## CAPÍTULO II. DISEÑOS COMERCIALES Y CONCEPTUALES DE BICICLETAS PLEGABLES.

En este capítulo se abordarán los diferentes tipos de bicicletas plegables que se comercializan en América y Europa actualmente. Debido a que TRIZ comprende diferentes herramientas de solución de problemas y en este trabajo se busca mejorar productos comerciales patentados por excesivas o insuficientes acciones, TRIZ recomienda el uso de Potenciales de Evolución para estos tres casos. Se hará una breve descripción de cada producto y se usará la metodología para definir las características, fortalezas y áreas de oportunidad de dichos productos, y a través de ello, determinar los atributos que el producto a diseñar debería tener o mejorar.

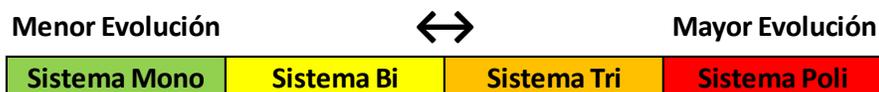
### 2.1 Análisis mediante Radar de Evolución.

Del Radar de Evolución se han seleccionado algunas tendencias de evolución debido a que son las más significativas para este producto. A continuación, se explica cada de una de ellas, así como su medición y criterios:

**1) Dinamización espacial (Dynamization):** Referida a la estructura del vehículo, cantidad de juntas que tiene para realizar el plegado.



**2) Mono-bi-poli-Objetos Similares (Mono-bi-poli-similar objects):** Referido al mecanismo que conforma la transmisión de potencia del vehículo. Cantidad de elementos similares para realizar dicha tarea.

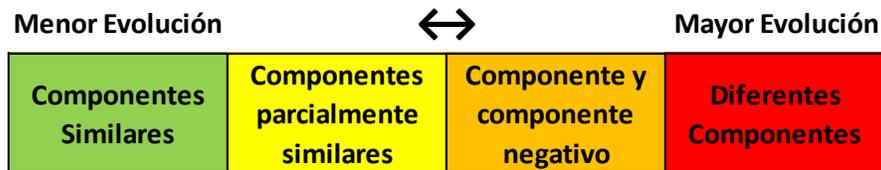


**3) Mono-bi-poli-Objetos Variados (Mono-bi-poli-various objects):** Referido a los distintos elementos de la estructura. Cantidad de elementos distintos que permiten el plegado.

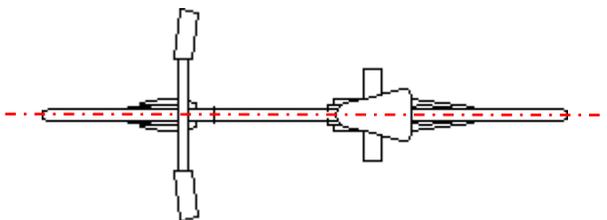


**4) Mono-bi-poli-Aumento de Diferencias (Mono-bi-poli-increasing differences):** Referido al conjunto completo de elementos que conforman el vehículo y que sirven

para lograr los objetivos del vehículo: ser plegable y funcionar como bicicleta. Cantidad de elementos distintos que se requieren para lograr los objetivos. (Ruedas, transmisión, frenos, volante, etc.)



**5) Incremento de Asimetría (Increasing assymetry):** Referente a la simetría respecto al eje longitudinal del vehículo en vista superior. *Figura 2.1*

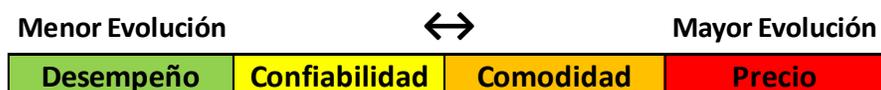


*Figura 2.1. Diagrama del eje de simetría longitudinal de una bicicleta.*

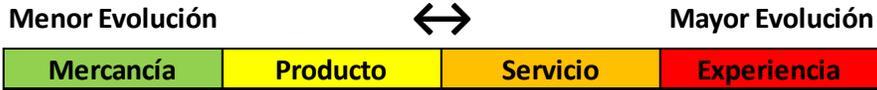
**6) Incremento en el uso de sentidos (Increasing use of senses):** Sinestesia entre el vehículo y los sentidos del usuario. Cantidad de sentidos que el usuario estimula al usar el vehículo.



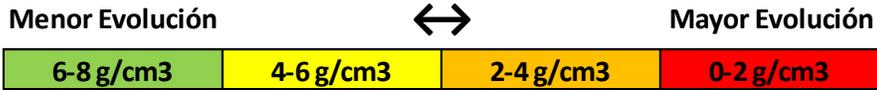
**7) Enfoque de compra del cliente (Customer purchase focus):** El usuario se enfocará en el precio, comodidad, confiabilidad y desempeño.



**8) Evolución del Mercado (Market evolution):** Expectativas del usuario respecto al vehículo y mantener el producto competitivo en el mercado.



**9) Disminución de la Densidad (Decreasing density):** Densidad del material que principalmente comprende la estructura.



**10) Segmentación del objeto (Object segmentation):** Referido a la cantidad de partes que se puede separar el vehículo y hacerlo más compacto, plegable y manejable.



## 1. Bicicleta Plegable Convencional.

Este tipo de bicicletas, siendo las más comercializadas debido a su bajo costo, sencillez de plegado, mantiene la forma y piezas clásicas de una bicicleta, así como una transmisión convencional de cadena y sprocket. Algunos modelos se adaptaron comercialmente para ser eléctricas. Este tipo de bicicletas son comercializadas por marcas como Benotto, Mercurio, Dahon, Bromton. En la *Figura 3.2* se muestran ejemplos gráficos de algunas marcas y modelos.



*Figura 2.2. Ejemplos de diferentes marcas de bicicletas plegables convencionales.*

El plegado consiste en una bisagra en la parte media del cuadro, justo delante del disco. También tiene bisagras en el poste del volante. Los postes del volante y asiento pueden desplazarse dentro del tubo al cual están acoplados, para elevar o disminuir la altura de estos. La suma de estos mecanismos permite que los ejes de las ruedas queden dispuestos cuasi alineados uno a otro en la posición de plegado. Este tipo de bicicletas son la base de otros diseños modernistas y conceptuales, donde el plegado es similar.

El Radar de Evolución para las bicicletas plegables convencionales respecto a las tendencias seleccionadas y los criterios de cada una de ellas se muestra en la *Figura 2.3*.

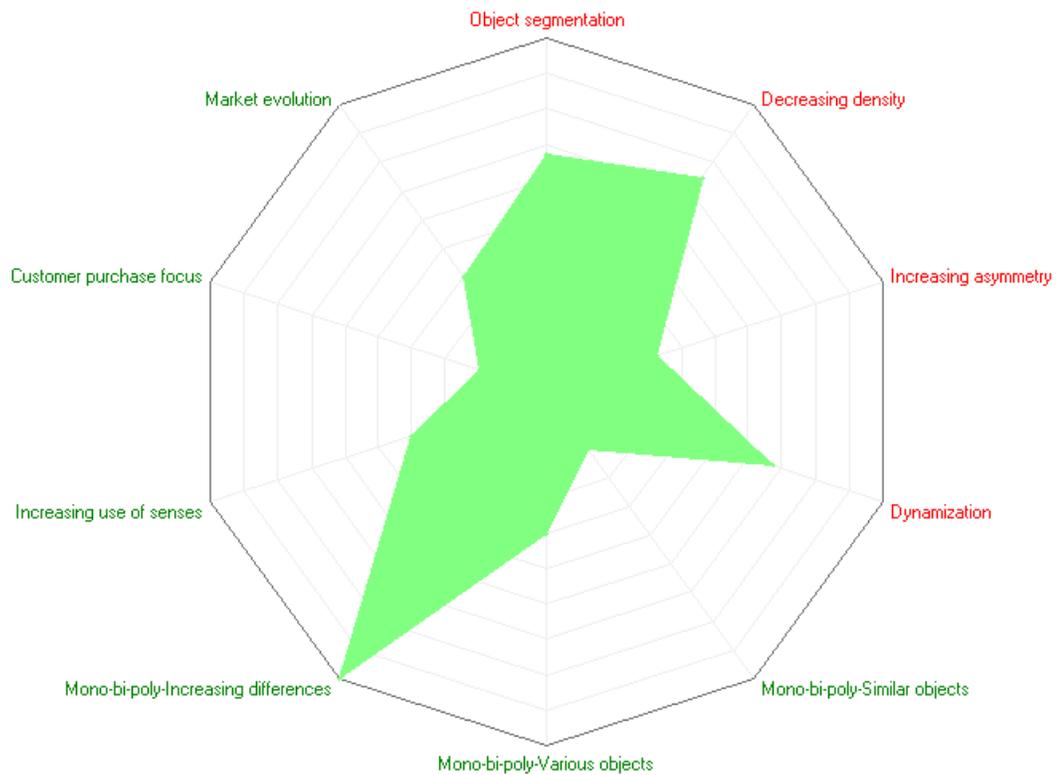


Figura 2.3. Radar de Evolución de bicicleta plegable convencional.

## 2. **A-bike / Strida.**

La *A-bike* es una bicicleta plegable creada por Sir Clive Sinclair en el Reino Unido y publicada el 12 de julio de 2006. Fue diseñada por un equipo en Daka, Hong Kong and Sinclair Research tras 5 años de investigación, y fue originalmente anunciada en 2004. Clive Sinclair ideó el concepto de la *A-bike* y Alex Kalogroulis fue su principal ingeniero de diseño. Su aspecto es parecido a los patinetes infantiles de dos ruedas.

La estructura telescópica de la *A-bike* reduce su volumen aparente cerca de un 25% cuando está plegada. Un sistema de cadenas gemelas le permite moverse cerca de 3.2 metros por revolución del pedal a pesar de las pequeñas ruedas neumáticas (15 o 20 cm de diámetro). La cobertura rodea completamente el mecanismo de transmisión y manejo, protegiéndola.

A pesar de sus características ventajosas, su maniobrabilidad es compleja como lo describe la revista *A to B*: «La *A-bike* es fabulosamente compacta, pero casi inmanejable».



Figura 2.4. Fotografía de A-bike.

La *Strida Bike* es un concepto similar al *A-bike* que combina su esencia y la de una bicicleta convencional respecto a sus componentes. Las ventajas de estos diseños son análogas y para este concepto se extienden al tener componentes de fácil acceso en el mercado.



Figura 2.5. Fotografía de Strida Bike.

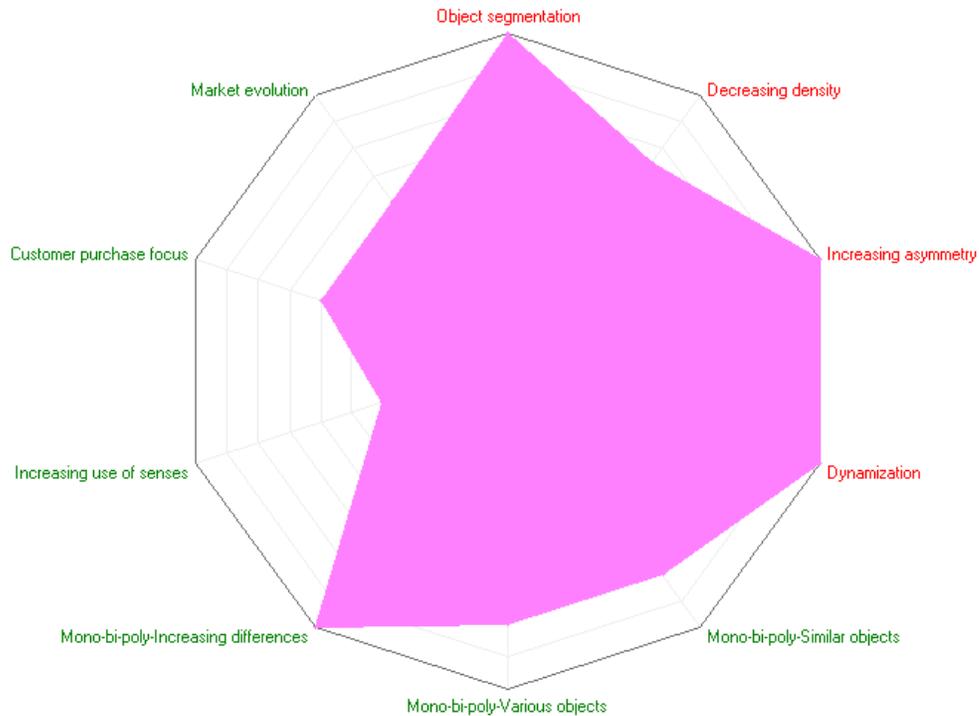


Figura 2.6. Radar de Evolución de A-bike y Strida.

### 3. Bergmonch.

De la marca alemana Koga, Bergmonch es una bicicleta pagable y de fácil transportación, incorporando una mochila en la estructura. La bicicleta con mochila portátil Bergmonch es una bicicleta tipo Down Hill (no tiene pedales), mientras que para subir está pensada para ser portada en la espalda como mochila. A este diseño se le ha incorporado una mochila de 23 litros de capacidad integrada en la propia estructura.



Figura 2.7. Fotografía de Brgmonch Bike.

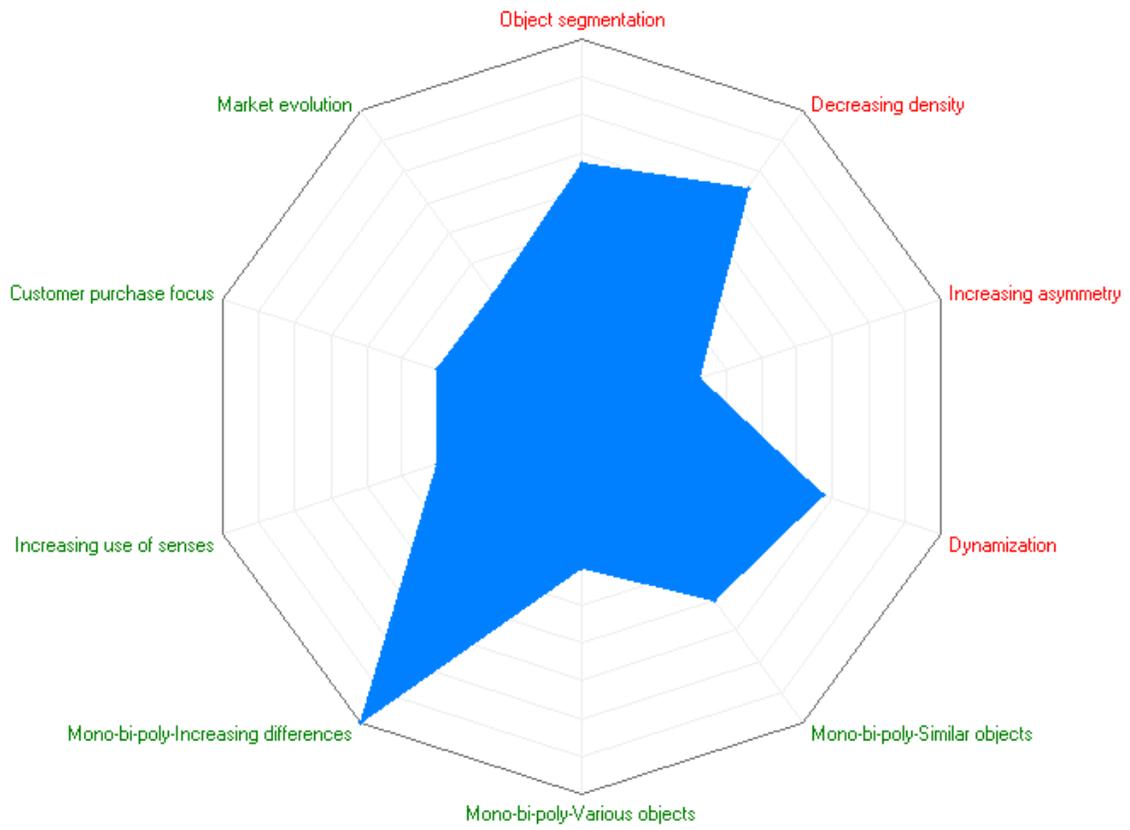


Figura 2.8. Radar de Evolución de Bergmonch Bike.

## 2.2 Análisis cualitativo y comparativo.

Bicicleta	Ventajas	Desventajas
Plegable Convencional	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Fácil plegado.</li> <li>* Piezas convencionales de bicicleta.</li> <li>* Estructura tubular para optimizar el peso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Siendo de metal, es incómoda para transportar plegada.</li> <li>* Pesada para ser cargada.</li> <li>* Al estar plegada, el volumen no es óptimo, por lo que resulta incómoda para el usuario.</li> </ul>
A-bike/Strida	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Fácil plegado.</li> <li>* Estructura tubular para optimizar el peso.</li> <li>* Mayoría de piezas convencionales de bicicleta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Reducida maniobrabilidad</li> <li>* Precio mayor respecto a la bicicleta plegable convencional.</li> </ul>
Bergmonch	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Algunas piezas convencionales de bicicleta.</li> <li>* Adición de elementos que permiten la transportación del vehículo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* No es para uso urbano.</li> <li>* No tiene transmisión.</li> <li>* Precio mayor respecto a la bicicleta plegable convencional</li> </ul>

Tabla 2.1. Tabla comparativa de ventajas, desventajas y características generales de bicicletas plegables comerciales..

Bicicleta	Peso [Kg]	Dimensiones Plegada [cm]	Volumen [cm <sup>3</sup> ]	Material Cuadro	Rodada [in]
Plegable Convencional	10 – 12	55x55x25	75,625	Acero/Aluminio	16-24
A-bike	5.5	67x30x16	32,160	Aluminio	8-12
Bergmonch	10.4	90x55x25	123,750	Aluminio	20

Tabla 2.2. Tabla comparativa de características generales de las bicicletas analizadas.

Del Radar de Evolución obtenido en el análisis de cada diseño se ha elaborado el diagrama de comparación de estos. En la *Figura 2.9* se puede observar la comparativa gráfica de cada potencial seleccionado del Radar.

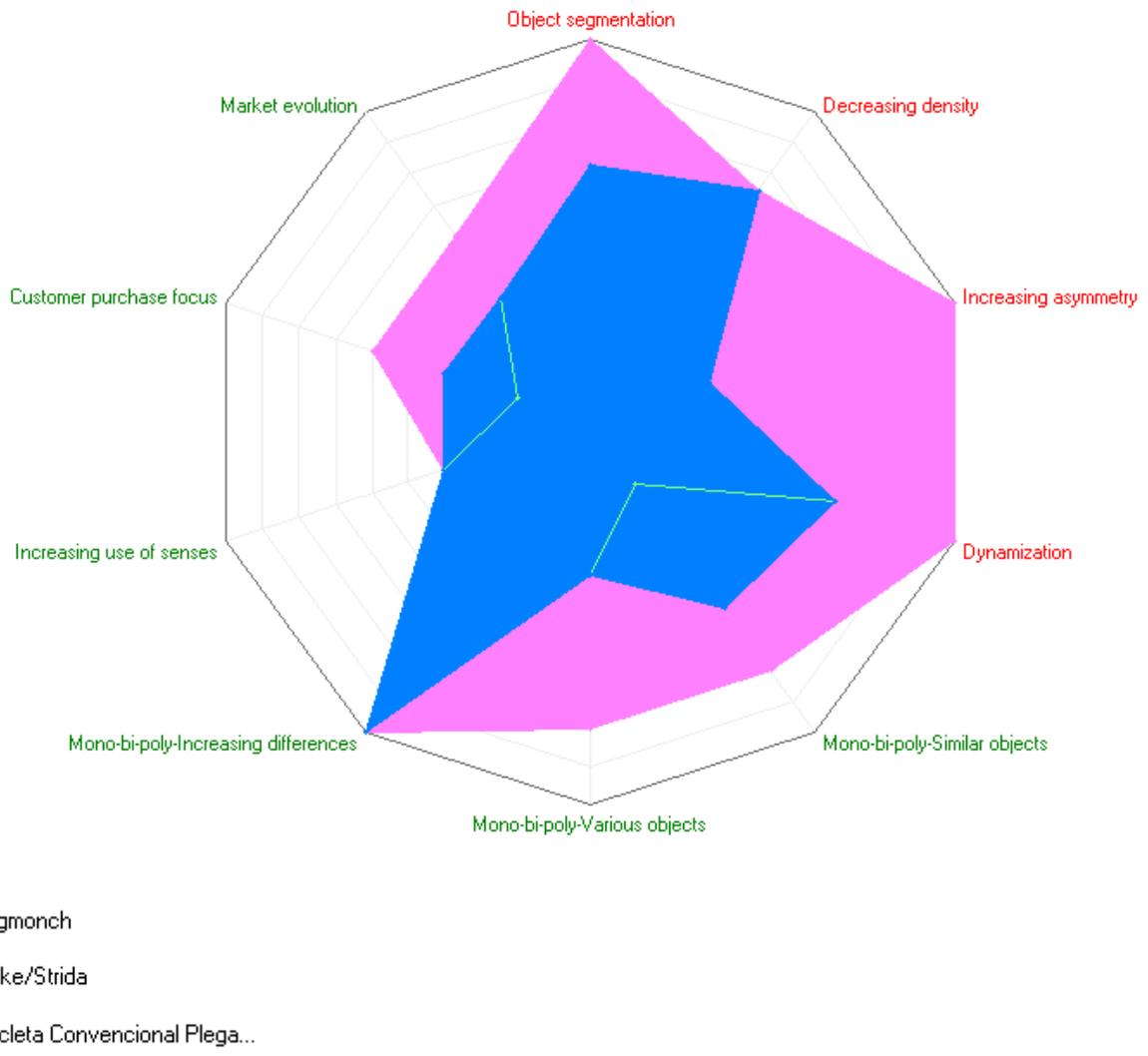


Figura 2.9. Comparativo del radar de bicicletas plegables convencionales, A-bike y Bergmonch..

Adicionalmente, en la *Tabla 3.3* se analiza cada diseño. Las columnas indican el diseño y en las filas (renglones) se agregan los potenciales. De esta manera, hacia la derecha de la tabla se puede analizar y comparar cada diseño específicamente en cada potencial. A los distintos potenciales se les asignó un número de acuerdo con cada nivel, siendo el nivel más bajo “1” y el más alto “4”. Con estos valores se realiza la suma de cada potencial y al final cada diseño tendrá un valor numérico, que, a mayor magnitud, más evolucionado será el diseño. De esta manera, cuantitativamente, se pueden comparar los diseños.

Elemento		Plegable Convencional	A-bike / Strida	Bergmonch
<b>1</b>	<b>Dinamización (Espacial)</b>			
	1 Inmóvil			
	2 Junta única	•		•
	3 Juntas múltiples		•	
<b>2</b>	<b>Mono-bi-poli-objetos (similares)</b>			
	1 Sistema Mono			Al no tener transmisión, el valor numérico es nulo, así como la evolución del potencial
	2 Sistema Bi			
	3 Sistema Tri	•		
	4 Sistema Poli		•	
<b>3</b>	<b>Mono-bi-poli-objetos (variados)</b>			
	1 Sistema Mono			
	2 Sistema Bi	•		•
	3 Sistema Tri			
	4 Sistema Poli		•	
<b>4</b>	<b>Mono-bi-poli aumento de diferencias</b>			
	1 Componentes similares			
	2 Componentes parcialmente similares			
	3 Componente y componente negativo			
	4 Diferentes componentes	•	•	•
<b>5</b>	<b>Incremento de asimetría</b>			
	1 Simetría	•		•
	2 Simetría parcial			
	3 Simetría armonizada		•	
<b>6</b>	<b>Incremento en el uso de los sentidos</b>			
	1 1 sentido			
	2 2 sentidos	Tacto y vista	Tacto y vista	Tacto y vista
	3 3 sentidos			
	4 4 sentidos			
<b>7</b>	<b>Enfoque de compra del cliente</b>			
	1 Precio	•		
	2 Comodidad			
	3 Confiabilidad		•	
	4 Desempeño			•
<b>8</b>	<b>Evolución del mercado</b>			
	1 Mercancía			
	2 Producto	Unicamente es producto		Unicamente es producto
	3 Servicio		•	
	4 Experiencia			
<b>9</b>	<b>Disminución de la densidad</b>			
	1 6-8 g/cm3			
	2 4-6 g/cm3			
	3 2-4 g/cm3	Aluminio	Aluminio	Aluminio
	4 0-2 g/cm3			
<b>10</b>	<b>Segmentación del objeto</b>			
	1 Sólido monolítico			
	2 Sólido segmentado	Tiene dos partes		Tiene dos partes
	3 Sólido altamente segmentado		•	
	<b>Suma</b>	<b>22</b>	<b>32</b>	<b>22</b>

Tabla 2.3. Tabla comparativa cuantitativa de cada potencial y bicicleta.

Se puede observar en la tabla que la A-bike / Strida son los diseños más evolucionados.

## **CAPÍTULO III. DISEÑO Y VALIDACIÓN ESTÁTICA.**

El método utilizado deriva de la comunicación visual, conceptualizando una idea para convertirla en un producto de consumo humano, generando productos que consideren los siguientes factores:

- Estética y moda.
- Ergonomía.
- Facilidad de manufactura.
- Uso de nuevos materiales.
- Comercialización.

El diseño se centra mayoritariamente en el usuario final, buscando una conexión entre el usuario y el producto para lograr que este producto cumpla sus funciones de manera óptima.

Es destacable decir que no hay un camino sistemático para el “buen diseño”, más bien, el diseñador busca capturar y mantener un mar de ideas y la relación de materiales, formas, texturas y colores, reacomodando y recombinándolos para encontrar una solución que satisfaga las instrucciones de diseño.

Un factor importante en el desarrollo del producto es la comercialización del producto. Para comercializar un producto, éste debe satisfacer necesidades para que un comprador decida adquirir por un precio monetario dicho producto.

Los productos que satisfagan las necesidades básicas del ser humano son los que más fácilmente se comercializan pues abarcan todo el mercado (comida, vestido, vivienda, etc.), e incluso se puede decir que cualquier producto que no satisfaga una necesidad y por tanto se considere un lujo, no podrá ser comercializado de manera fácil, lo cual implicaría puntos en contra para manufacturar éste producto, sin embargo, la teoría de Maslow sobre las satisfacciones de un producto dan una percepción diferente.

Según esta teoría, cualquier producto puede ser vendido siempre que cumpla las siguientes necesidades:

- (1) Fisiológica.
- (2) Seguridad.
- (3) Sentimiento de pertenencia.
- (4) Prestigio.
- (5) Competencia y estima social.
- (6) Auto realización y curiosidad de comprender el entorno.

A medida que un usuario satisface las necesidades de un nivel inferior, entonces se orienta a satisfacer las de un nivel superior.

La satisfacción de un producto se cumple cuando:

- ✓ Funcionalidad (que sea útil)
- ✓ Usabilidad (fácil de usar)
- ✓ Estética (sensación agradable)

Estos tres requisitos deben ser cumplidos en conjunto para que un producto tenga un significado de pertenencia al estilo de vida de la persona que lo necesita y esté dispuesto a pagar un precio monetario.

Los atributos que un producto debe tener para resultar atractivo para un consumidor son los siguientes:

- a) Atributo Estético: Son aquellos relacionados directamente con los sentidos: color, sabor, textura, brillo, forma.
- b) Atributo Asociativo: Aquellos que hacen una conexión con el tiempo, espacio, evento o persona.
- c) Atributos Percibidos: Describe la reacción de un material o producto, puede ser sofisticado, moderno o humorístico.
- d) Atributos Emocionales: Describe como el material o producto te hace sentir: feliz, emocionado, triste, etc. También se le llama "ergonomía emocional".

### **3.1 Diseño conceptual. Especificaciones, requerimientos y restricciones de diseño.**

Del capítulo 2, apartado 2.2 se retomará la comparativa. Se tomará un vehículo como base para desarrollar el nuevo diseño con las innovaciones y mejoras para lograr los objetivos primarios.

Del diagrama de evolución, para cada potencial se tiene lo siguiente:

1. Dinamización. Se utilizará una junta para realizar el plegado del cuadro. Nivel de evolución: 2.
2. Mono – bi – poli – objetos (similares). Para disminuir el peso total del vehículo, así como la complejidad de los mecanismos, se optó por tener transmisión directa a la rueda. Nivel de evolución: 1.
3. Mono – bi – poli – objetos (variados). Se considera un sistema bi dado que la estructura se conforma de dos partes plegadas. Nivel de evolución: 2.
4. Mono – bi – poli – aumento de diferencias. Dado que tiene el mismo número de componentes diferentes que el resto de los diseños se considera en el mismo nivel de evolución: 4.

5. Incremento de asimetría. Para facilitar el análisis y la fabricación, se considera un sistema simétrico. Nivel de evolución: 2.
6. Incremento en el uso de los sentidos. Para este diseño se considera el mismo uso de sentidos. Nivel de evolución: 2.
7. Enfoque de compra del cliente. El diseño se guiará hacia el mejor desempeño del producto en cuanto a cumplir los objetivos de la bicicleta plegable. Nivel de evolución: 4.
8. Evolución del mercado. La experiencia en la adquisición y uso del producto son los objetivos ante el usuario. Nivel de evolución: 4.
9. Disminución de la densidad. El uso de Fibra de Carbono en la estructura disminuirá la densidad. Nivel de Evolución: 4.
10. Segmentación del objeto. La estructura, el asiento y el manubrio son objetos que se plegarán y harán el vehículo más plegable. Nivel de evolución: 3.

Los requerimientos que se han usado para el diseño final dependen del Método TRIZ utilizado anteriormente para adquirir las áreas de oportunidad para el desarrollo de una bicicleta que satisfaga dichas áreas. Así mismo, se estipula que el diseño debe contar con los siguientes elementos y especificaciones:

- Transmisión directa a la rueda sin elementos intermediarios como cadena o platos, para disminuir el peso total del vehículo.
- Uso de dos ruedas, para mantener la esencia del ciclismo, procurando tener el menor peso y volumen posible.
- Uso de tubos redondos de medidas milimétricas, debido a la facilidad de obtención del producto, manipulación y simpleza para realizar el diseño.

### **3.2 Diseño, selección y análisis de elementos y sistemas mecánicos.**

Para el correcto diseño del cuadro, que será la estructura base del vehículo, se considerarán dimensiones, proporciones antropométricas, tallas de bicicletas urbanas y valores base para el correcto funcionamiento del vehículo.

#### **3.2.1 Medidas antropométricas.**

Las medidas antropométricas se usarán para obtener las tallas de la bicicleta para todo el rango de usuarios y considerar este dato en el diseño mecánico. La talla indica la distancia del sillín al eje de pedaleo, es decir, la distancia del tubo del asiento.

De *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana* <sup>[2]</sup>, se adquirieron datos antropométricos. Se valida el uso de estos datos para uso de la CDMX debido a que los datos se obtuvieron de una población de una ciudad (Guadalajara, Jalisco) con características similares a la CDMX.

Los datos que se usarán son de estudiantes (masculinos y femeninos) de 18 a 24 años y trabajadores industriales (masculinos y femeninos) de 18 a 65 años pues estas muestras comprenden a la mayoría de la población, además de que el vehículo estará diseñado para el uso de esta población.

Para obtener la talla se requiere la medida del pie a la cadera. En las tablas esta distancia es la suma de la altura poplíteo más la longitud nalga-poplíteo.

Para que el vehículo se adapte a todo el rango de usuarios de una urbe similar, se tomarán lo percentiles 5 y 95 de las medidas antes mencionadas. Estas medidas se señalarán en cada tabla y al final se seleccionarán el percentil 5 más pequeño y el percentil 95 más alto; con estos valores obtendremos la talla mínima y máxima para el diseño de la estructura.

Dimensiones		18 años (n=91)					19-24 años (n=187)				
				Percentiles					Percentiles		
		¿	D.E.	5	50	95	¿	D.E.	5	50	95
22	Altura normal sentado	839	28	793	840	885	838	32	785	840	886
23	Altura hombro sentado	550	26	509	549	588	547	27	502	546	592
24	Altura omoplato	427	28	381	427	473	428	29	380	430	476
25	Altura codo sentado	243	26	200	245	286	240	28	194	239	286
26	Altura máx. muslo	141	13	120	142	162	138	14	115	137	161
27	Altura rodilla sentado	478	22	442	478	514	480	25	439	479	521
28	Altura poplíteo	385	21	352	386	422	399	24	359	400	439
29	Anchura codos	443	50	361	437	526	436	42	367	432	505
30	Anchura cadera sentado	374	33	320	374	428	372	33	320	368	431
31	Longitud nalga-rodilla	544	27	499	542	589	549	30	500	547	598
32	Longitud nalga-poplíteo	438	28	392	438	484	453	30	404	453	502
33	Diámetro a-p cabeza	183	7	173	183	195	185	8	172	184	198
48	Perímetro cabeza	541	16	515	540	567	547	16	521	546	573

Tabla 3.1. Estudiantes sexo femenino 18 a 24 años. Datos numéricos en milímetros. <sup>[2]</sup>

De la *Tabla 3.1* se tiene:

- Suma del percentil 5 (18 años): 744 [mm].
- Suma del percentil 95 (18 años): 906 [mm].
- Suma del percentil 5 (19-24 años): 763 [mm].
- Suma del percentil 95 (19-24 años): 941 [mm].

Dimensiones		18 años (n=106)					19-24 años (n=97)				
				Percentiles					Percentiles		
		$\bar{x}$	D.E.	5	50	95	$\bar{x}$	D.E.	5	50	95
22	Altura normal sentado	889	31	839	891	940	888	33	834	890	942
23	Altura hombro sentado	584	32	528	585	637	587	32	534	585	640
24	Altura omoplato	445	28	399	450	491	447	29	399	443	495
25	Altura codo sentado	241	32	188	241	294	241	33	187	241	295
26	Altura máx. muslo	152	15	127	153	177	150	15	125	148	175
27	Altura rodilla sentado	525	31	474	528	576	528	26	485	527	571
28	Altura poplítea	427	23	389	428	465	432	24	392	431	472
29	Anchura codos	508	56	416	501	600	485	52	399	476	571
30	Anchura cadera sentado	373	33	318	375	427	372	35	314	368	430
31	Longitud nalga-rodilla	582	32	529	581	635	588	28	542	584	634
32	Longitud nalga-poplíteo	459	33	404	458	516	473	33	418	471	527
33	Diámetro a-p cabeza	192	7	180	192	204	193	7	181	192	205
48	Perímetro cabeza	558	16	532	557	584	566	19	535	568	597

Tabla 3.2. Estudiantes sexo masculino 18 a 24 años. Datos numéricos en milímetros. <sup>[2]</sup>

De la *Tabla 3.2* se tiene:

- Suma del percentil 5 (18 años): 793 [mm].
- Suma del percentil 95 (18 años): 981 [mm].
- Suma del percentil 5 (19-24 años): 810 [mm].
- Suma del percentil 95 (19-24 años): 999[mm].

Dimensiones		18 - 65 años (n=204)				
				Percentiles		
		$\bar{x}$	D.E.	5	50	95
22	Altura normal sentado	832	27.42	790	831	879
23	Altura hombro sentado	551	22.95	511	552	591
24	Altura omoplato	426	26.91	377	426	469
25	Altura codo sentado	250	25.78	207	249	293
26	Altura máx. muslo	152	18.06	126	150	185
27	Altura rodilla	472	21.85	435	474	508
28	Altura poplítea	374	20.79	338	376	406
29	Anchura codos	487	54.23	411	478	582
30	Anchura cadera sentado	399	39.4	347	392	472
31	Longitud nalga-rodilla	575	27.97	534	572	625
32	Longitud nalga-poplíteo	471	32.92	434	470	513
53	Altura cresta ilíaca	204	23.68	158	204	236
57	Diámetro a-p cara	211	10.59	192	212	228

Tabla 3.3. Trabajadores industriales sexo femenino 18 a 65 años. Datos numéricos en milímetros. <sup>[2]</sup>

De la *Tabla 3.3* se tiene:

- Suma del percentil 5: 772 [mm].
- Suma del percentil 95: 919 [mm].

Dimensiones		18 - 65 años (n=396)				
				Percentiles		
		$\bar{x}$	D.E.	5	50	95
22	Altura normal sentado	876	31.17	825	877	927
23	Altura hombro sentado	581	27.63	535	582	638
24	Altura omoplato	442	27.66	396	443	486
25	Altura codo sentado	246	28.36	201	245	290
53	Altura cresta iliaca	195	19.19	158	198	223
26	Altura máx. muslo	152	18.09	127	150	178
27	Altura rodilla	513	25.79	473	512	556
28	Altura poplítea	412	25.65	374	412	453
29	Anchura codos	531	54.90	443	529	620
30	Anchura cadera sentado	374	31.26	328	372	423
31	Longitud nalga-rodilla	583	33.41	537	582	640
32	Longitud nalga-poplíteo	476	28.92	432	475	526
57	Diámetro a-p cara	222	8.27	207	222	235

Tabla 3.4. Trabajadores industriales sexo masculino 18 a 65 años. Datos numéricos en milímetros. <sup>[2]</sup>

De la *Tabla 3.4* se tiene:

- Suma del percentil 5: 806 [mm].
- Suma del percentil 95: 979 [mm].

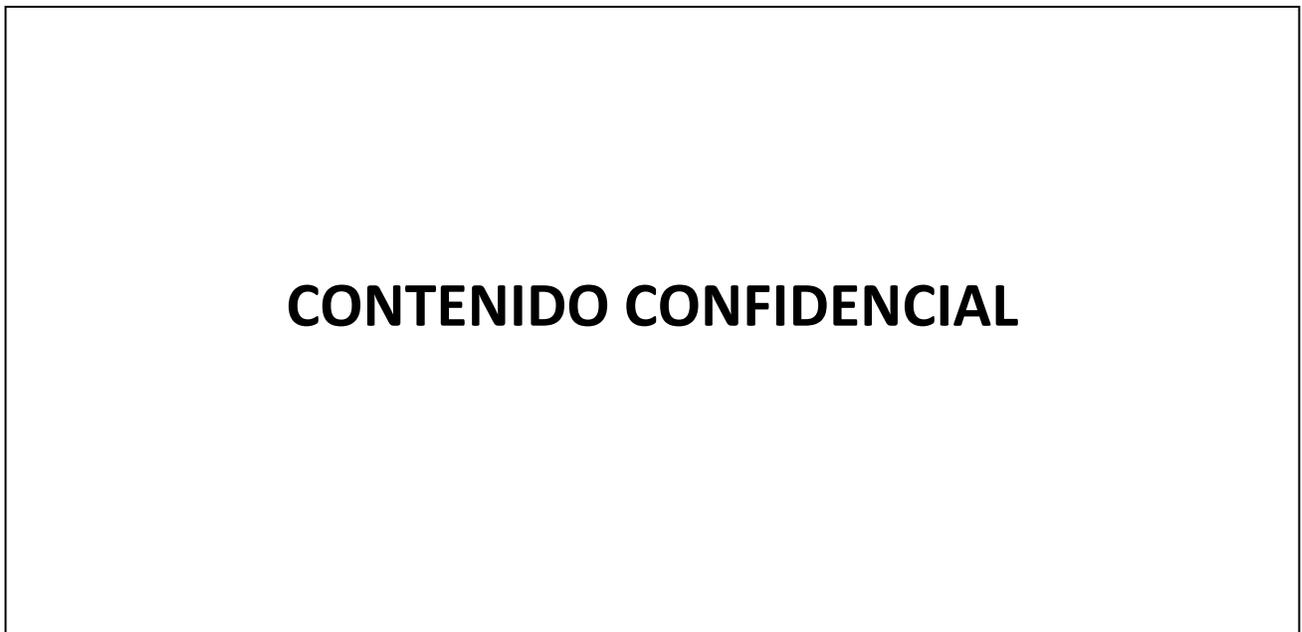
Así, se tiene que la distancia pie-cadera para el percentil 5 mínimo es de 744 [mm] y para el percentil 95 máximo es de 999 [mm]. Para determinar la talla se utilizará un factor de 0.8 que se usa de manera genérica para estas bicicletas. Entonces se tiene la medida mínima de la distancia del tubo del asiento en 595 [mm] y el máximo en 799 [mm].

### 3.2.2 Diseño del cuadro (Estructura).

El diseño conceptual presentado se adaptará a las medidas de talla mencionadas. El diagrama (*Figura 3.1*) muestra la figura general de la bicicleta e indica las secciones más relevantes; en la *Figura 3.2* se muestra la figura de la bicicleta en su talla más grande y más pequeña.



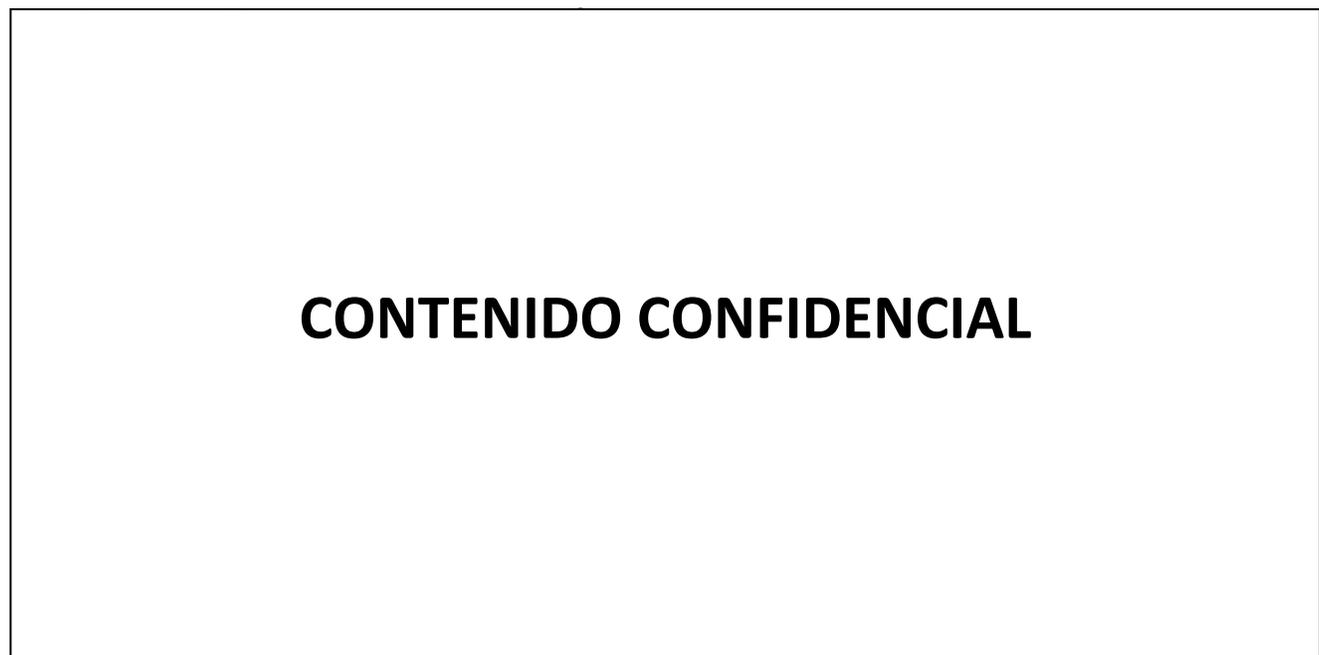
*Figura 3.1. Diagrama de diseño de bicicleta propuesto.*



*Figura 3.2. Diagrama de diseño de bicicleta propuesto en su talla más grande (izquierda) y más chica (derecha).*

En la *Figura 3.3* se asignó número a puntos importantes para el análisis. Los puntos y tramos con sus características son los siguientes:

Tramo / Punto	Descripción
Punto 1	Punto donde se encuentra el asiento en su talla más grande.
Tramo 1-14	Tramo de diámetro menor donde el asiento ensambla.
Tramo 1-12	Tramo del poste del asiento.
Punto 12	Punto donde se encuentra el asiento en su talla más pequeña.
Punto 4	Punto donde inicia la tijera trasera.
Punto 7	Punto de doblez de la bicicleta.
Punto 11	Punto donde inicia la tijera delantera.
Punto 13	Punto donde termina el cuadro e inicia el poste del manubrio.
Punto 8	Punto más alto del poste del volante.
Puntos O y O <sub>1</sub>	Puntos donde se encuentra el eje de cada rueda (trasera y delantera respectivamente).
Puntos A, B, E y F	Puntos donde recae la tijera sobre el eje de cada rueda.



*Figura 3.3. Diagrama de bicicleta con puntos propuestos para su análisis y diagrama de tijeras de bicicleta con puntos planteados.*

Para el análisis se concentró el origen del plano de referencia en el punto O.

En la *Tabla 3.4* se muestran los datos geométricos del diseño.

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

*Tabla 3.4. Coordenadas de cada punto, distancia de tramos de puntos interconectados y tubos considerados en cada tramo.*

La *Tabla 3.5* muestra las propiedades de cada sección transversal en el modelo.

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

*Tabla 3.4. Coordenadas de cada punto, distancia de tramos de puntos interconectados y tubos considerados en cada tramo.*

### 3.2.2.1 Análisis estático bidimensional del cuadro.

De manera analítica se realizó el estudio estático ideal del cuadro únicamente, sin las tijeras, y se estudiará como una estructura estática. El diagrama de cuerpo libre se muestra en la *Figura 3.4*. Las fuerzas que se contemplan son:

a)

b)

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

Estas fuerzas serán las máximas a las que podrá estar sujeto el diseño y las condiciones que se contemplan son:

Restricción	Reacción
Punto 4, fijado en X	Reacción $R_{x_4}$ en dirección X.
Punto 4, fijado en Y	Reacción $R_{y_4}$ en dirección Y.
Punto 11, fijado en Y	Reacción $R_{y_{11}}$ en dirección Y.

Las distancias se nombrarán con las cifras de puntos que las unen. Se tiene entonces:

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

*Figura 3.4. Diagrama de cuerpo libre del diseño propuesto.*

Para obtener las reacciones se hace un análisis estático de fuerzas y momentos:

$$\sum Fx = Rx_4 + Fx_8 = 0$$

$$\sum Fy = -W - Fy_8 + Ry_4 + Ry_{11} = 0$$

$$+\circlearrowleft \sum M_o = (4 \rightarrow 11)_x * Ry_4 - (4 \rightarrow 8)_x * Fy_8 - (4 \rightarrow 8)_y * Fx_8 = 0$$

Entonces, de las ecuaciones resueltas se obtiene (*Figura 3.5*):



*Figura 3.5. Diagrama de cuerpo libre resuelto del diseño propuesto.*

Una vez que se tienen las cargas aplicadas y las reacciones sobre la estructura, se procede a realizar un análisis de esfuerzos y deformaciones. Para ello se ha seleccionado compuesto de Fibra de Carbono como material y se toman las siguientes propiedades del apartado 4.4:

## CONTENIDO CONFIDENCIAL

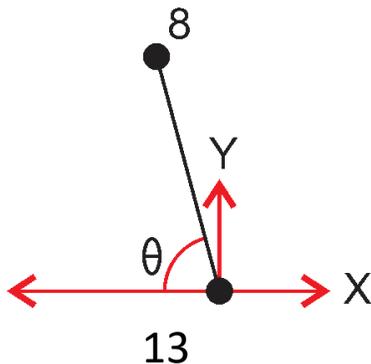
Como primera observación se advierte que la deformación más crítica será en el elemento 13 → 8 (*Figura 3.6*) por lo que el análisis se concentrará en este sector:

## CONTENIDO CONFIDENCIAL

*Figura 3.6. Deformación a escala de 38 de la estructura analizada*

La deformación que se produce es por flexión, por lo que para realizar el análisis se considerará como una viga empotrada en el punto 8 y con las fuerzas actuando sobre el punto 13.

Después de separar este elemento (*Figura 3.7*), lo primero es realizar una rotación y traslación de ejes de referencia quedando como se muestra en la *Figura 3.8*.



*Figura 3.7. Elemento 13-8 separado para su análisis. El valor de  $\theta=75^\circ$*

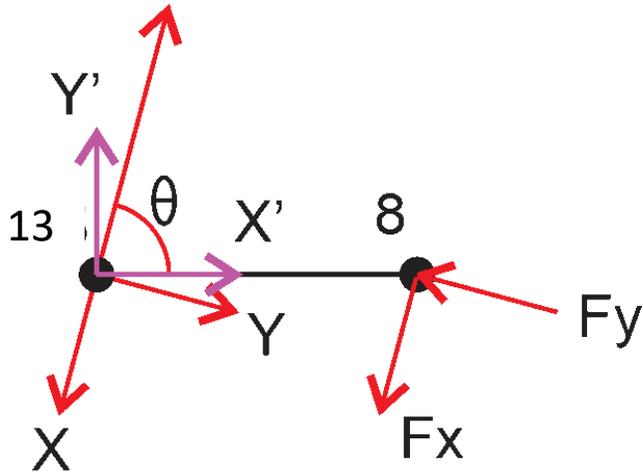


Figura 3.8. Elemento 13-8 rotado para su análisis. El valor de  $\theta=75^\circ$

Después se hace la descomposición de fuerzas y se analiza la viga. Figura 3.9.

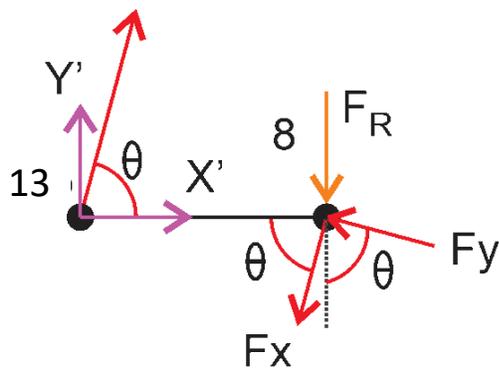


Figura 3.9. Elemento 13-8 con análisis de fuerzas considerándolo como una viga empotrada en punto 13.

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

La Fuerza de reacción en el elemento 13 será de la misma magnitud que  $F_R$  y el Momento se calcula:

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

La deformación máxima se calcula como:

$$\delta_8 = -F_R \frac{(13 \rightarrow 8)^3}{3 * E * I_{xx}}$$

Para el tubo usado,

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

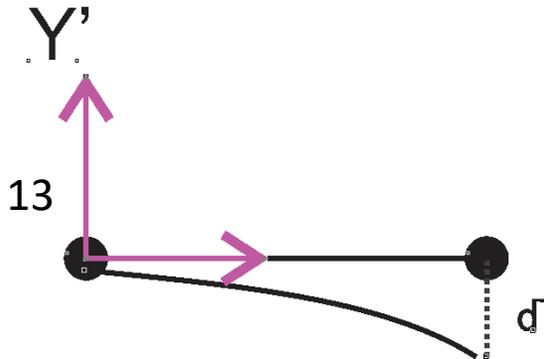


Figura 3.10. Elemento 13-8 mostrando su deflexión delta.

Para determinar el esfuerzo a flexión en el punto de la viga más crítico se deben considerar

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

Y se utilizará la siguiente ecuación para determinar los esfuerzos a flexión:

$$\sigma_b = \frac{M_{13} * c}{I_{xx}}$$

Donde:

$\sigma_{bx}$  – Esfuerzo a flexión en el punto “x” en estudio.

$c_x$  – Distancia del eje neutro a la última fibra en el punto “x” en estudio. *Figura 3.11*

$M_x$  – Momento máximo respecto al punto “x” en estudio.

$I_{xx}$  – Segundo momento de área de la sección transversal de la viga.

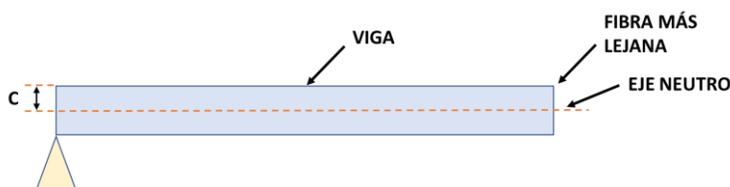


Figura 3.11. Diagrama de una viga empotrada mostrando el eje neutro.

La distancia al eje neutro de cada sector (*Tabla 3.4*) es:

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

Se tiene entonces:

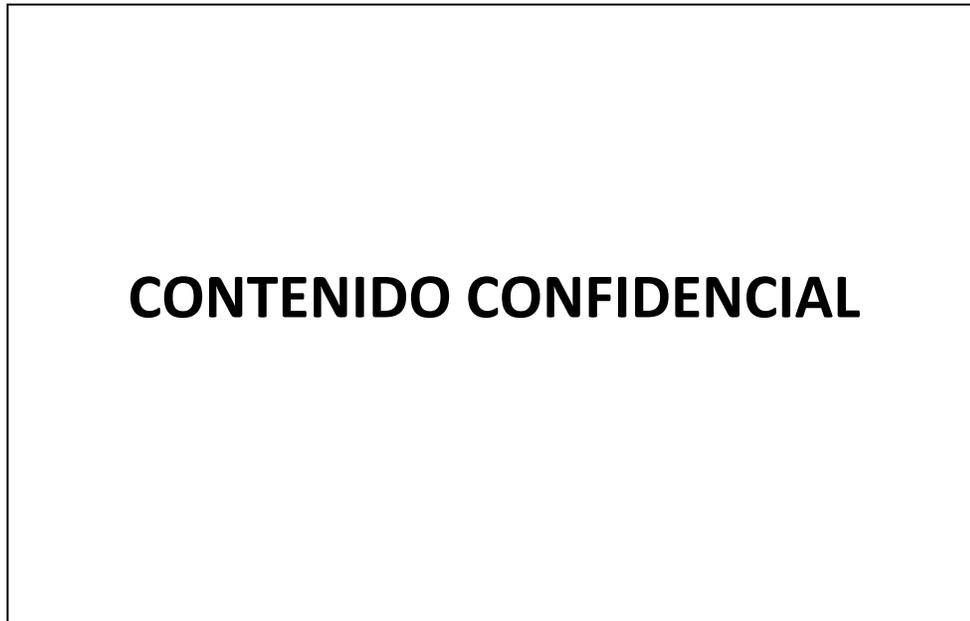
**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

Con el uso de la aplicación *2D Finite Element Analysis*, ya hecho el modelo, con las mismas cargas y restricciones del modelo analítico, se procede al mallado de 58 puntos y 57 elementos. *Figura 3.12*.

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

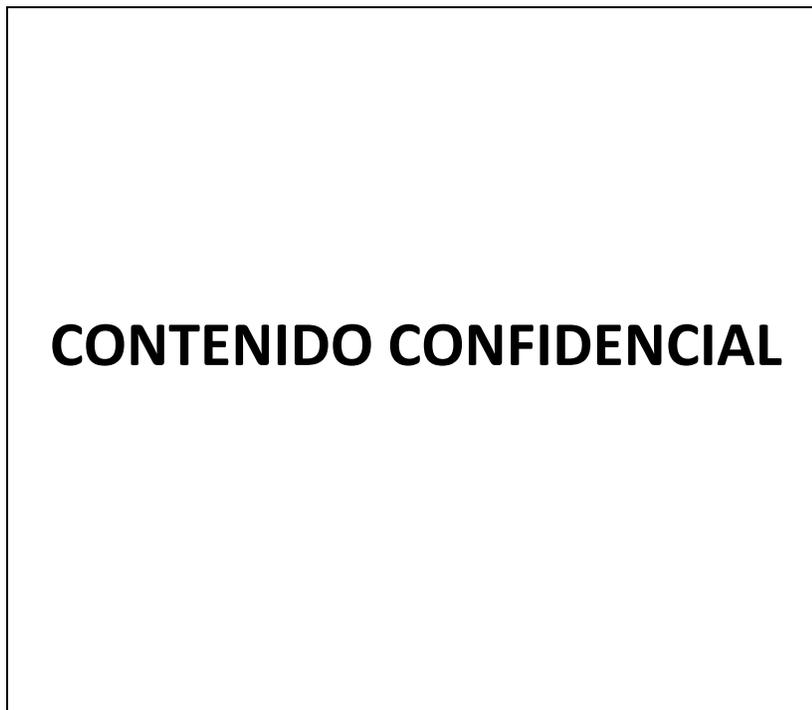
*Figura 3.12. Mallado de la estructura mediante 2D FEM.*

Una vez computado, los resultados gráficos se muestran en la *Figura 3.13*



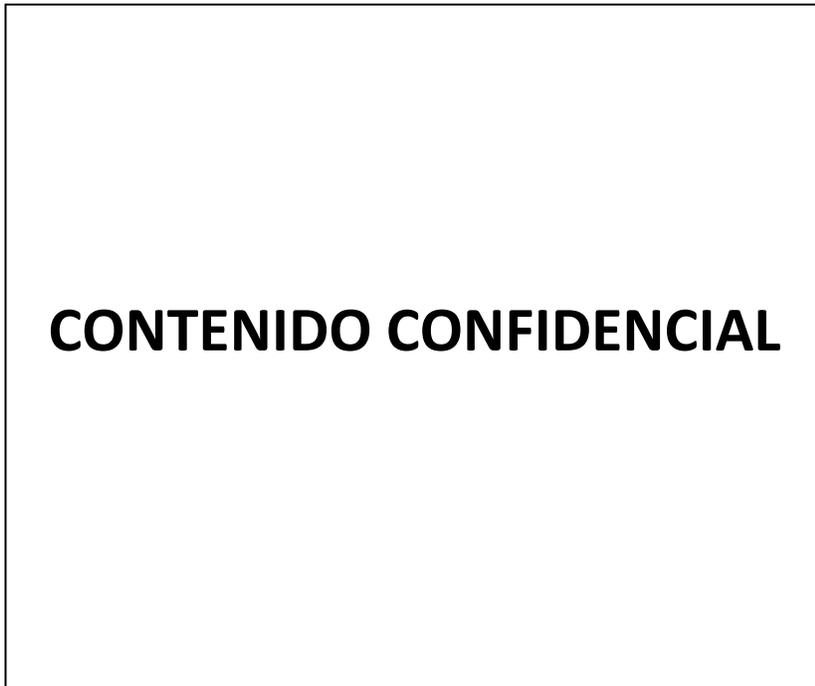
*Figura 3.13. Resultado del análisis hecho mediante 2D FEM de las fuerzas actuantes y resultantes.*

También se obtuvieron mediante esta aplicación los datos siguientes (*Figura 3.14*):

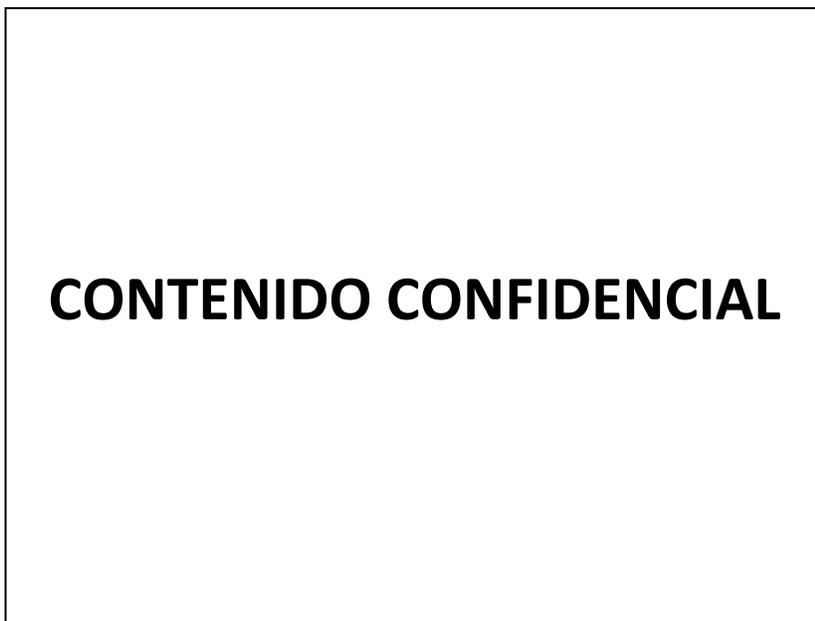


*Figura 3.14. Diagrama mostrando el centro de masa de la estructura.*

Los desplazamientos se muestran en las *Figuras 3.15, 3.16 y 3.17*.



*Figura 3.15. Desplazamiento total de nodos mediante 2D FEM*



*Figura 3.16. Desplazamiento total en X de nodos mediante 2D FEM*

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

*Figura 3.17. Desplazamiento total en Y de nodos mediante 2D FEM*

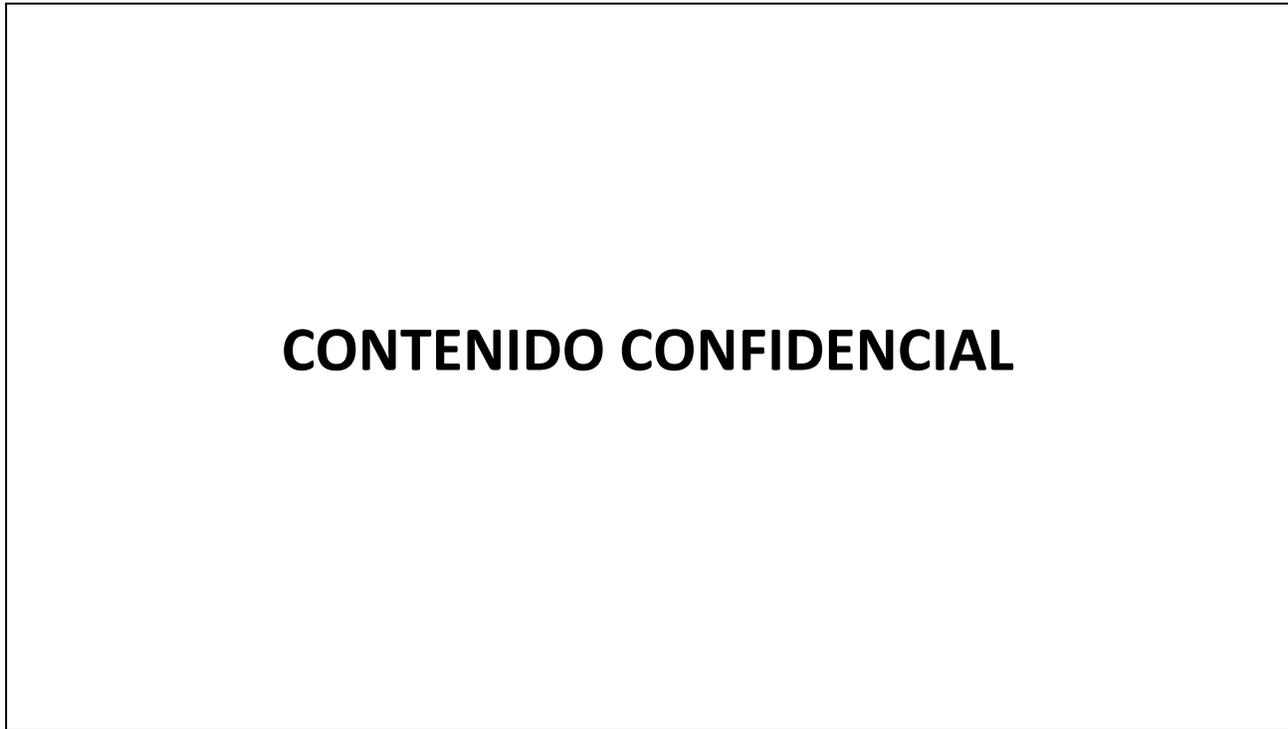
De igual forma, por esta metodología se realiza el análisis de esfuerzo a flexión para la estructura. El resultado gráfico se muestra en la *Figura 3.18*

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

*Figura 3.18. Diagrama de esfuerzos a flexión mediante el uso de 2D FEM*

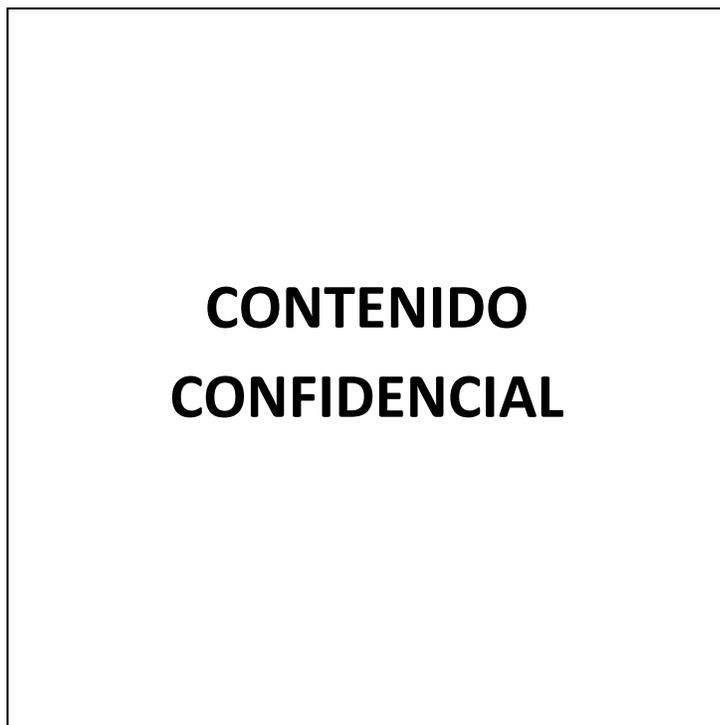
**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

### 3.2.2.2 Diseño conceptual en CAD de la estructura.



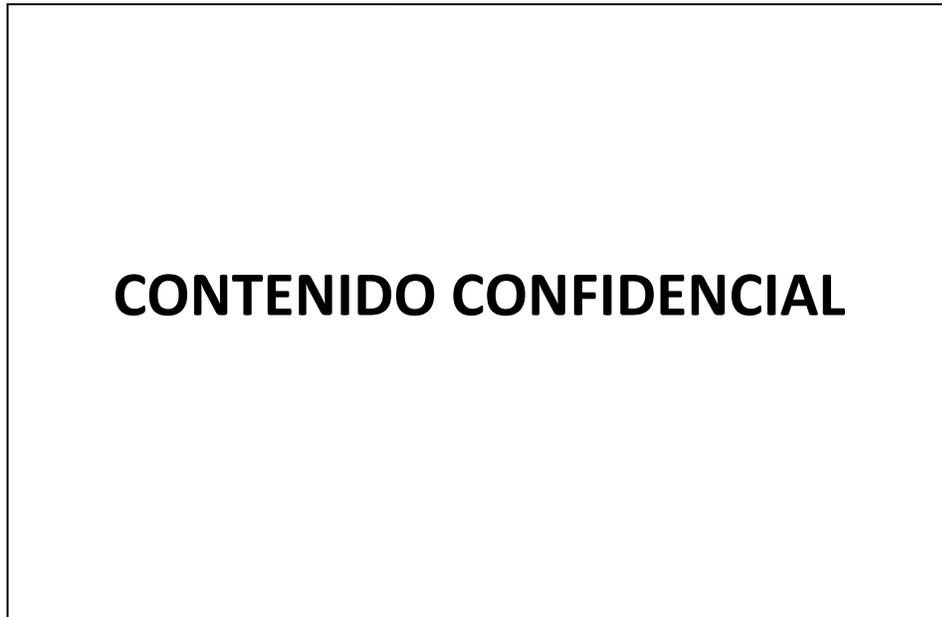
*Figura 3.19. Diagrama de funcionamiento de giro del plegado.*

Dando ese giro en el boceto, la estructura queda como en la *Figura 3.20.*

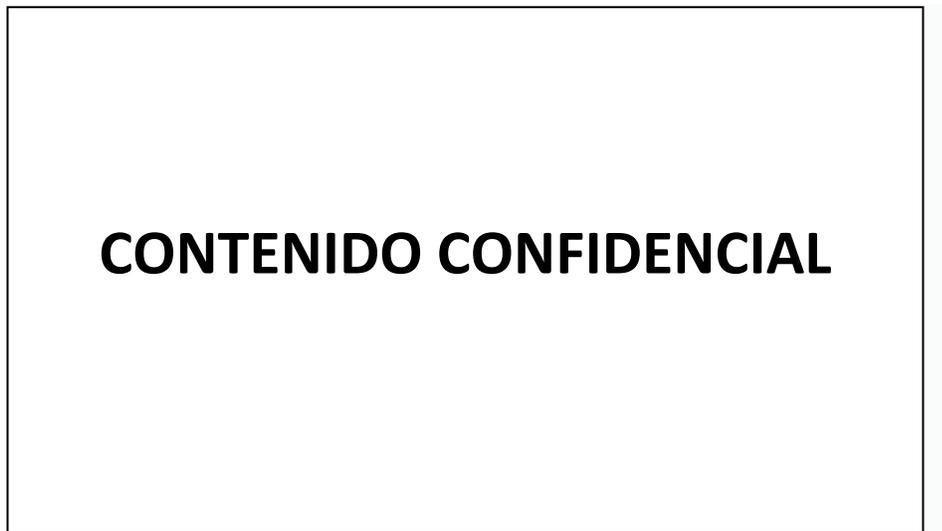


*Figura 3.20. Diagrama de funcionamiento de giro del plegado.*

Los diagramas de cada elemento en CAD, así como de la bisagra que generará el giro se muestran en las *Figuras 3.21 y 3.22*



*Figura 3.21. Elemento A en vista lateral (izquierda) Elemento B en vista lateral (derecha).*



*Figura 3.22. Bisagra conceptual para realizar el plegado.*

El ensamble quedaría como se muestra en las *Figuras 3.23 y 3.24.*

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

*Figura 3.23. Vista lateral (izquierda) e isométrico (derecha) de ensamble de Elementos A y B con bisagra.*

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

*Figura 3.24. Ensamble de la bicicleta doblada (izquierda); vista superior de la bicicleta doblada para comprobar interferencias; vista lateral la bicicleta doblada para comprobar interferencias.*

Se observa que bajo estas acotaciones no existen interferencias entre la estructura al estar plegada y, además, se tiene un plegado de 180°.

Si se sobreponen el diagrama con el diseño en CAD, observamos que estos coinciden.  
*Figura 3.25*

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

*Figura 3.25. Coincidencia entre estructura en CAD y diagrama preliminar propuesto.*

### **3.2.3 Diseño conceptual del sistema de transmisión.**

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

Y en la *Figura 3.29* se observa el ensamble completo.

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

#### **3.2.4 Selección de elementos y accesorios.**

Los elementos mecánicos y accesorios que tendrá el vehículo se han seleccionado con relación a la comercialización y fácil obtención y adaptación a diferentes bicicletas.

## **CONTENIDO CONFIDENCIAL**

El asiento tendrá un peso no mayor a 0.500 [kg] y el manubrio de Fibra de Carbono en aproximadamente 0.100 [kg].

Para facilitar la construcción del vehículo y disminuir el peso total se optará por el uso de frenos de tipo “cangrejo”. Peso total del sistema de frenado 0.400 [kg].

### **3.2.5 Estimación final del diseño.**

## **CONTENIDO CONFIDENCIAL**

Se realiza nuevamente un análisis de Potencial de Evolución sobre el producto final, así como el análisis cualitativo.

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

Las características generales se muestran en la *Tabla 3.6*

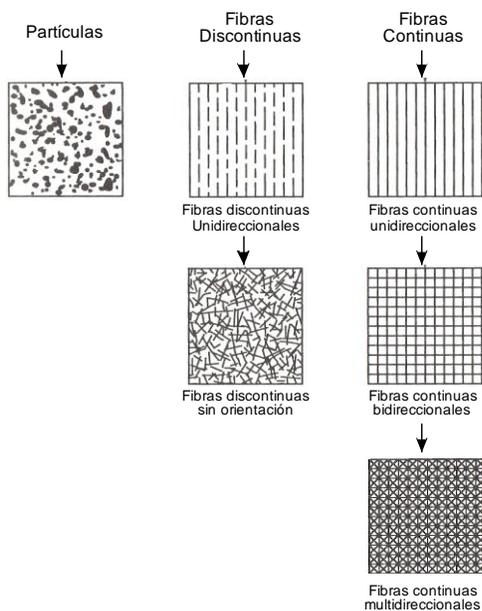
**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

# CAPÍTULO IV. COMPUESTO DE FIBRA DE CARBONO.

## 4.1 Materiales Compuestos de Matriz Polimérica.

Un material compuesto es la combinación de dos o más materiales que dan como resultado mejores propiedades que si se usaran estos materiales individualmente. En contraste con aleaciones metálicas, cada material retiene sus propiedades químicas, físicas y mecánicas. Éstos materiales tienen como característica principal que son anisotrópicos, es decir, que sus propiedades dependen de la dirección en la que son ensayadas. Esto significa una mayor complejidad en el diseño, ya que puede dar lugar a comportamientos no intuitivos y fallas inesperadas, sin embargo, también permite la posibilidad de diseñar el material en conjunto con la estructura, adaptados óptimamente a su función.

Los dos componentes de un material compuesto se denominan matriz y refuerzo. Las ventajas son las altas propiedades de resistencia y rigidez combinadas con una baja densidad, lo que permite una disminución en el peso del producto final. En la mayoría de los casos, el refuerzo es más duro, rígido y resistente que la matriz, éste refuerzo usualmente son fibras o partículas. Las partículas tienden a tener propiedades menores que las fibras continuas, pero a su vez son más económicas. Existen las fibras continuas y discontinuas. Las continuas normalmente tienen una orientación preferencial, mientras que las discontinuas tienen una orientación aleatoria. Las fibras continuas pueden ser unidireccionales, bidireccionales o multidireccionales (tejido), como se ilustra en el diagrama de la *Figura 4.1*



*Figura. 4.1. Clasificación de sistemas de materiales compuestos. [5].*

Las fibras producen compuestos de alta resistencia debido a su diámetro tan pequeño; contienen muchos menos defectos que materiales que se producen a granel y comúnmente solo tienen defectos superficiales. Como regla general, a menor diámetro de fibra, mayor es la resistencia, pero también el costo de producción aumenta; así mismo, a un diámetro menor, mayor es la flexibilidad y es más sencillo fabricar tejidos. Los compuestos de fibras continuas son hechos en láminas, apilando capas de fibras continuas en diferentes orientaciones para obtener la resistencia y rigidez deseadas y la fracción máxima de volumen de fibras es del 80%, más allá de esta cantidad las fibras ya no quedan totalmente rodeadas por la matriz. [3]

La fibra de vidrio en sus variedades normal (Vidrio E) y de alta resistencia (S o R) será la de mayor consumo por su excelente relación resistencia/precio. Su bajo módulo elástico es su principal limitación. Es un material amorfo, de aspecto blanco, por dispersión de la luz.

Las fibras de carbono, en sus tres variantes de alta resistencia (HS), intermedia y alto módulo (UHM), serán el material de elección para aplicaciones estructurales muy exigentes, cuando la rigidez y el peso son criterios dominantes del diseño y cuando el precio es un factor secundario.

Las fibras de poli aramida (poliamidas aromáticas), entre las que el Kevlar es el nombre comercial más conocido, tienen frente a las anteriores la propiedad de ser tenaces por sí mismas, como tejidos secos, lo que permite su uso como material flexible de blindaje y para absorción de energía de impactos. Por su buena resistencia específica a tracción, son además empleadas en el refuerzo devanado de depósitos de alta presión.

Otras fibras cerámicas, como la fibra de boro, formada por deposición química en fase vapor de boro sobre un filamento de wolframio o de carbono, o las fibras de alúmina, carburo de silicio, etc., son más caras que las fibras de carbono, sin tener mejores propiedades que éstas. La única razón de su utilización es evitar la reacción a alta temperatura entre fibra y matriz. [19]

En la *Figura 4.2* se muestra una gráfica de las curvas a esfuerzo-deformación de estos refuerzos a tensión, y en la *Tabla 4.1* se muestran las diferencias en las propiedades de cada tipo de fibra.

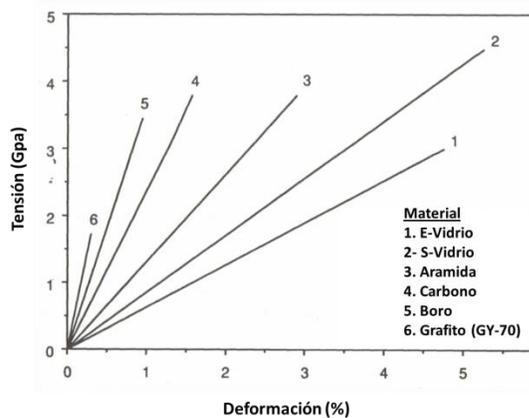


Figura 4.2. Curvas Esfuerzo (tensión) - Deformación de fibras de refuerzo. [5]

Material	Densidad [Kg/m3]	Módulo de Young [GPa]	Resistencia a Tensión [Gpa]
Boro	2600	410	4
Carbono	1800	295	5.6
Aramida	1500	130	3.6
E-Vidrio	2500	70	2
S-Vidrio	2600	90	4.6

Tabla. 4.1. Propiedades típicas de algunos refuerzos. [8]

La matriz puede ser un metal, polímero o cerámico. Los polímeros tienen una baja resistencia y rigidez. La matriz ejecuta funciones críticas: mantienen a las fibras en la orientación y espacio apropiados, las protege del ambiente y transmite cargas de la matriz a las fibras a través de cortantes en la interface.

Los polímeros empleados actualmente como matrices pertenecen mayoritariamente a familias de termoestables.

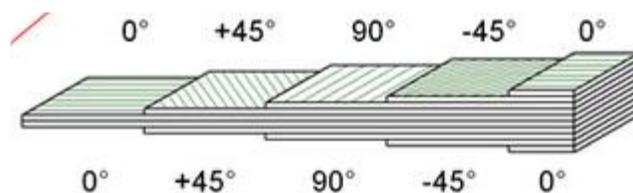
Las resinas de poliéster insaturado son las más económicas y las de mayor comodidad de uso. Su curado en caliente es muy rápido, inferior al minuto, por lo que son las resinas usuales en los procesos que exigen muy alta cadencia de producción. En general se acompañan de fibra de vidrio, nunca de fibras superiores.

Las resinas epoxi proporcionan mejores propiedades mecánicas, dentro de la limitada influencia de la matriz. Su curado es lento, con tiempos típicos de una a dos horas.

En menor proporción se emplean otras resinas, como las fenólicas, cuando el requisito de resistencia al fuego es imperativo, las vinilester, por su buena resistencia química, o las bismaleimidias, para temperatura de servicio hasta 200 °C. [19]

### Laminación y dirección de las fibras.

Las fibras se comercializan como hilos, de 3,000 a 12,000 filamentos cada uno (La cantidad de filamentos en cada hilo se designa con la letra k). Estos hilos pueden a su vez formar un tejido, para facilitar su manipulación, o estar dispuestos paralelos como una cinta, impregnados en resina y sobre un papel soporte que facilita su manejo. En cualquier caso, el espesor de una de estas láminas individuales es del orden de 0.2 mm, y para lograr el espesor requerido por la pieza habrá que superponer varias láminas, formando el laminado. Se dispone de libertad absoluta para orientar estas láminas; de hecho, se orientarán más láminas en la dirección más solicitada mecánicamente, en lo que se denomina secuencia de apilamiento, o definición de la orientación de cada lámina respecto de un eje arbitrario de referencia, ligado a la estructura. La *Figura 4.3* ilustra la notación empleada para definir estas secuencias.



Las láminas tienen un código de orientación.

Ejemplo: [0/-45/90/+45/0/0/+45/90/-45/0]

Abreviación: [0/-45/90/+45]<sub>s</sub> (Simetría)

[0/-45/90/+45]<sub>n</sub> (Repetido n veces)

*Figura 4.3. Nomenclatura para compuestos laminados. (Recuperado de <http://www.quartus.com/resources/white-papers/composites-101/>, diciembre de 2015).*

Algunas consideraciones de carácter práctico sobre la orientación de fibras:

- Las orientaciones usuales son 0, 90, +/-45. Combinando estas orientaciones, se puede conseguir la resistencia y rigidez requerida en cualquier dirección, por el carácter tensorial de las deformaciones.
- Los laminados siempre deben ser simétricos respecto de su plano medio, y equilibrados, para evitar distorsiones anómalas de la estructura, tales como alabeamientos inducidos por cambios térmicos.
- La resistencia y rigidez en una dirección cambia enormemente con la orientación dada, como pone de manifiesto la *Figura 4.4*; durante el diseño se tratará de optimizar la estructura, pero por el carácter frágil de la matriz nunca se emplearán en aplicaciones reales compuestos exclusivamente unidireccionales.

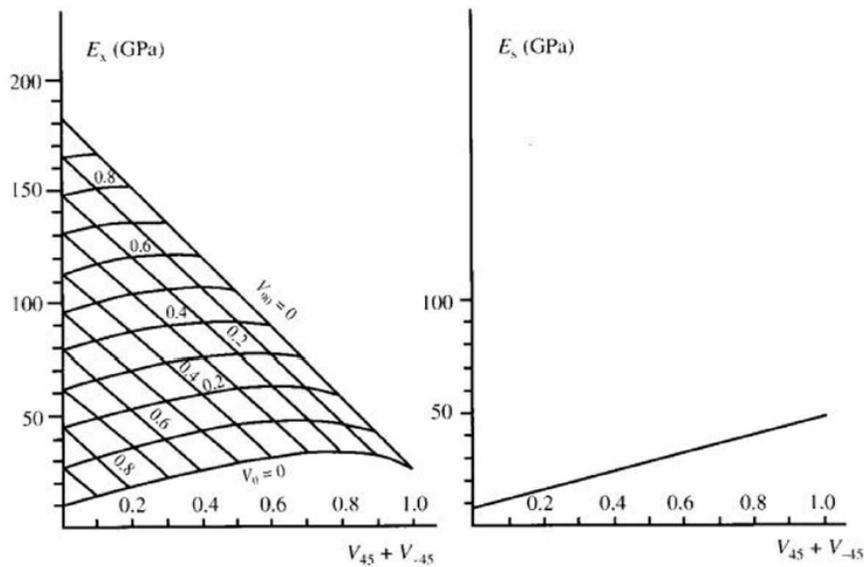


Figura 4.4. Ábaco para obtener el módulo elástico en laminados de carbono/epoxi, en función del porcentaje de láminas colocadas a 0, 90 y +/- 45 grados. [19]

## 4.2 Fibra de Carbono.

La fibra de carbono (CF) es un material no metálico que consiste en filamentos con un diámetro entre 7 y 12 [μm], el cuál es generado a partir de materiales poliméricos (generalmente PAN). El grafito es la base de la fibra de carbono, siendo éste una de las formas alotrópicas del carbono. Sus átomos están acomodados en forma hexagonal formando láminas que se sitúan una sobre otra (Figura 4.5). Los átomos que componen cada una de estas capas están enlazadas covalentemente, mientras que cada capa tiene entre sí enlaces débiles (Van der Waals).

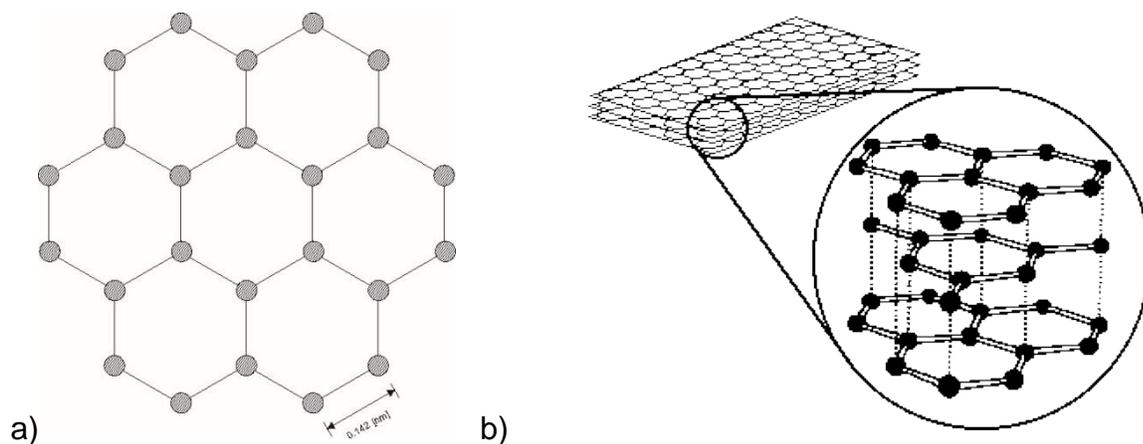
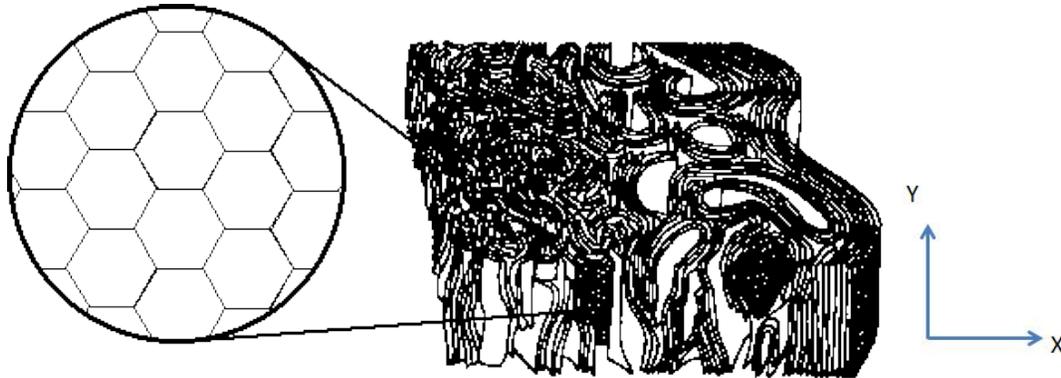


Figura 4.5. a) Arreglo de átomos de carbono en láminas de grafito [9]. b) Boceto de láminas de grafito. Las líneas punteadas representan los enlaces de Van der Waals entre cada lámina. [17]

Para obtener elevadas propiedades mecánicas, las capas del grafito deben estar paralelamente alineadas a los ejes de la fibra, como se muestra en la *Figura 4.6*. Las fibras de carbono alcanzan su fuerza excepcional debido a la interconexión y el plegamiento de estas capas.



*Figura 4.6. Celdas de grafito alineadas paralelamente al eje de la fibra donde será ensayada (eje Y). [17]*

El módulo de la fibra de carbono depende del grado de perfección del alineamiento, el cual varía considerablemente con el método y condiciones de manufactura. Las imperfecciones en el alineamiento incluyen vacíos, concentradores de esfuerzos y puntos débiles, los cuales conducen a una disminución en las propiedades mecánicas.

En la *Tabla 4.2* se muestran las propiedades mecánicas de la Fibra de Carbono, según distintos autores.

	Tipo I <sup>[9]</sup>	Tipo II <sup>[9]</sup>	Alta Resistencia (HR) <sup>[16]</sup>	Alto Módulo (HM) <sup>[16]</sup>	Tipo III <sup>[16]</sup>
<b>E [GPa]</b>	390	250	230	390	290
<b>Resistencia (tensión) [GPa]</b>	2.2	2.7	2.6 - 5	2.1 - 2.7	3.1
<b>Módulo (Perpendicular al eje de la fibra) [GPa]</b>	12	20			
<b>Densidad [gr/cm<sup>3</sup>]</b>	1.95	1.75	1.740 - 1.760	1.81 - 1.87	1.82
<b>Diámetro [μm]</b>	7 - 9.7	7.6 - 8.6	8	7	7 - 8
<b>Elongación a la Fractura</b>	0.50%	0.10%	2%	0.70%	1.10%
<b>Módulo Específico</b>			130	210	160

*Tabla 4.2. Propiedades mecánicas de la fibra de carbono según distintos autores.*

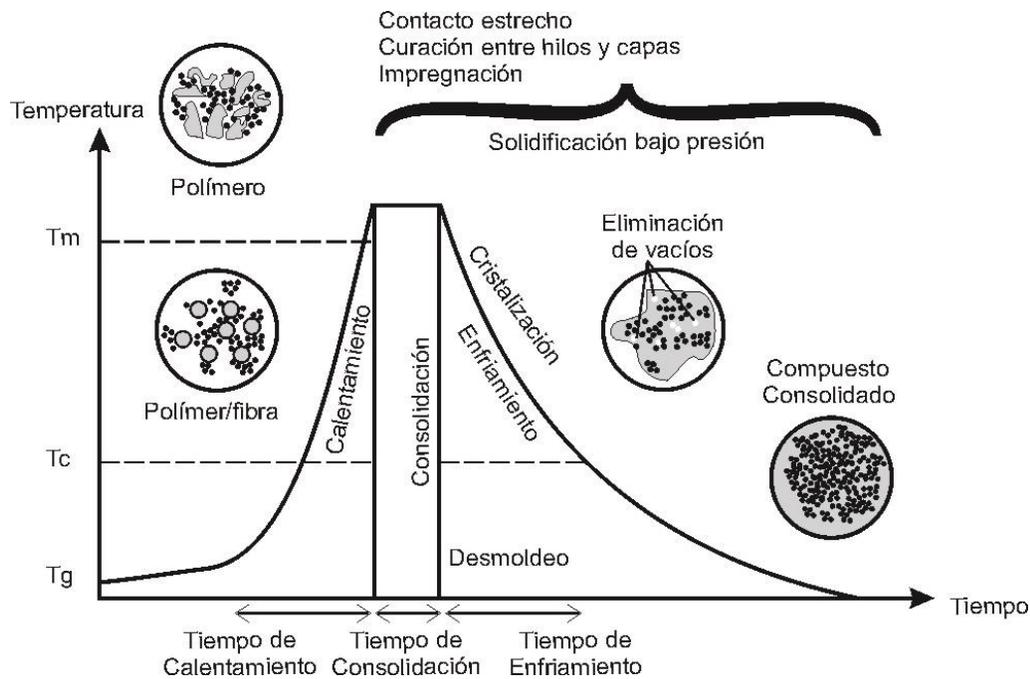
### 4.3 Resina Epoxi.

Las resinas epoxi son polímeros termoestables con excelentes propiedades eléctricas, mecánicas y adhesivas, así como una buena resistencia al calor y ataque químico. Son usadas comúnmente como adhesivos, recubrimientos superficiales y, cuando son agregadas a otros materiales como fibra de vidrio o carbono, funcionan como la matriz de materiales compuestos.

Para ser moldeada, el epoxi puede estar en forma granular o resina. Al ser moldeada, se tiene que tomar en cuenta, como en cualquier material termoplástico, la contracción del material al “curar”.

El proceso de curado del epoxi se refiere a la transformación de la resina en un sólido una vez que se han impregnado las fibras con la resina.

Este proceso se puede visualizar en la siguiente gráfica paso a paso:



$T_m$  = Tiempo de fusión

$T_c$  = Cristalización

$T_g$  = Temperatura de transición vítrea

Figura 4.8

## Propiedades Mecánicas

<b>E [GPa]</b>	3 - 6 <sup>[9]</sup>	2.35 - 3.08 <sup>[1]</sup>
<b>Poisson</b>	0.38 - 0.4 <sup>[9]</sup>	
<b>Resistencia a tensión [MPa]</b>	35-100 <sup>[9]</sup>	
<b>Resistencia a compresión [MPa]</b>	100-200 <sup>[9]</sup>	
<b>Dureza Vickers</b>		11 - 22 <sup>[1]</sup>
<b>Tenacidad a la Fractura [MPa/m<sup>1/2</sup>]</b>		0.4 - 2.22 <sup>[1]</sup>
<b>Densidad [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1.1 - 1.4 <sup>[9]</sup>	1.11 - 1.4 <sup>[1]</sup>
<b>Elongación a la Fractura</b>	1 - 6% <sup>[9]</sup>	2-10% <sup>[1]</sup>
<b>Calor Específico [J/kg*K]</b>		1494-2000 <sup>[1]</sup>
<b>Coefficiente Expansión Térmica [1/°C]</b>	6.00E-05 <sup>[9]</sup>	58 - 117 E-6 <sup>[1]</sup>
<b>Conductividad Térmica [W/m*°C]</b>	0.1 <sup>[9]</sup>	
<b>Contracción al curado</b>	1 - 2% <sup>[9]</sup>	

Tabla 4.3. Propiedades mecánicas de la resina epoxi según distintos autores.

## Propiedades Cualitativas

- Transparente u opaco (dependiendo del recubrimiento).
- Resistencia a alta temperatura (relativo a otros polímeros ~300°C)
- Buena propiedad estética.
- Capacidad de tomar geometrías complejas.
- Resistencia a la corrosión.

### **4.4 Compuesto de Fibra de Carbono.**

El material compuesto de Fibra de Carbono se compone de dos materiales esencialmente: Resina Epoxi como matriz y Fibras de Carbono como refuerzo.

La superficie de las fibras de carbono suele ser altamente reactiva, y pueden generar enlaces químicos directamente con resinas insaturadas. Esta reactividad contribuye a un fuerte enlace asociado a las fibras. Un factor adicional, es la superficie en contacto con la resina área debida a la gran cantidad de micro rugosidad en las fibras, de esta manera hay una gran cantidad de sitios para generar enlaces químicos y una gran área de contacto entre la resina y la fibra.

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

# CONTENIDO CONFIDENCIAL

Adicionalmente, éste compuesto puede contener en la superficie una capa de otra resina conocida comercialmente como Gelcoat.

El Gelcoat es un polímero, compuesto básicamente de resina epoxi, que le da al compuesto de Fibra de Carbono propiedades adicionales, como lo son: mayor resistencia a la degradación por luz UV de la matriz, mayor resistencia a la corrosión ambiental, acabado superficial brillante, mate o de color.

## Aspectos Cualitativos del Compuesto de Fibra de Carbono.

- \* Más ligero que el aluminio y más resistente que el acero.
- \* No se oxida, pero puede degradarse.
- \* Acabado superficial liso.
- \* Alta estética debido al color.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.**

### **5.1 Comparaciones.**

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

De esta gráfica se puede apreciar que la meta es completar el área dentro del polígono cuyos vértices corresponden a cada potencial. De primera instancia la meta es igualar o mejorar el área que pertenece a la A-bike.

El diseño propuesto supera e iguala en algunos potenciales, mientras que en otros aún está debajo. Con este análisis se consideran entonces mejoras que realizar de manera puntual, como el incremento de asimetría, dinamización, etc.

**CONTENIDO CONFIDENCIAL**

De la tabla cuantitativa se puede dar un estimado porcentual de cuánto falta al diseño para llegar al nivel más alto de los productos analizados. De esta manera, si consideramos el 32

## CONTENIDO CONFIDENCIAL

Para llegar al máximo de cada potencial se debería hacer un análisis con TRIZ para cada potencial, definiendo el problema y profundizando en él, así como visualizando el ideal al que se requiere llegar como mínimo.

### 5.2 Evaluación, Conclusiones y Recomendaciones.

## CONTENIDO CONFIDENCIAL

Cabe notar que, en el análisis de potenciales de evolución, el potencial mono-bi-poli objetos similares, contempla que a mayor cantidad de elementos hay una mayor evolución, sin embargo, se observa que en este caso específico hay dos ramas evolutivas aparentemente contrariadas: A mayor cantidad de objetos, mayor evolución, sin embargo esto produce sistemas más complejos y pesados, los cuales no van de acuerdo a nuestros objetivos, sin embargo, si se considera, por ejemplo, una trasmisión interna de cambios de velocidades, aumenta el número de objetos, el peso no aumenta considerablemente y la evolución sería mayor; de esta aparente contradicción, se puede considerar que en ciertos casos, y dependiendo del objetivo al que se quiere llegar, los potenciales podrían invertirse en su nivel de evolución.

El problema principal abordado fue la movilidad en una urbe y se analizó con TRIZ, llegando a una posible solución, siendo esta el uso de bicicletas. De aquí surgió una nueva problemática, que es el manejo de estos productos, y que fue igualmente analizada con TRIZ, dejando una solución el uso de bicicleta plegable. De estas premisas, hay que destacar la cadena de conceptos y soluciones que aparecen conforme se analiza el problema, llegando en algún momento a resolver problemas más específicos que dan una solución al problema primario. Es importante mencionar que al realizar el análisis con TRIZ, se debe tener un objetivo claro de la resolución del problema principal, pues en otro caso, extensas soluciones y problemas aparecerán y probablemente no se ataque el problema primario. Para el caso del presente escrito, se consideró desde un inicio que el problema de movilidad

se atacaría con un medio de transporte personal, buscando así soluciones que guiaran hacia ese objetivo.

En lo respectivo al diseño mecánico, se abordó el diseño preliminar de la estructura de la bicicleta, el cual considera un análisis estático bidimensional bajo cargas que no se deberán superar para su correcto uso, quedando estas como restricciones al usuario.

Dado que se busca que sea un producto comercial a largo plazo, se usaron tubos comerciales de dimensiones similares a las bicicletas convencionales y esta fue otra de las restricciones de diseño, sin embargo, para realizar un diseño óptimo de la estructura es necesario llevar a cabo iteraciones hasta encontrar un equilibrio entre peso y resistencia. Esto aplica si se busca utilizar tubos comerciales, pues si se libera el diseño al desarrollo de la estructura óptima basada en el diseño primario, el uso de cortes transversales triangulares sería óptimo, dado que el material utilizado otorga, entre sus múltiples ventajas, facilidad de moldeo respecto a los metales.

## **CONTENIDO CONFIDENCIAL**

Un análisis estático tridimensional es necesario para asegurar que las cargas estáticas se encuentren dentro del rango máximo permitido para las geometrías dadas. De igual manera, un análisis posterior de cargas dinámicas podrá otorgar un diseño más adecuado.

El presente trabajo se enfocó al diseño del cuadro, pero es necesario realizar diseño en cada pieza de la bicicleta que implique análisis estático y dinámico, posteriormente, un análisis del vehículo en conjunto será necesario para determinar que las especificaciones dadas sean correctas y estimar los límites de diseño y operación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ashby, Mike., 2005, *Materials and Design. The art and science of material selection in product design*, Primera Edición, Elsevier, Gran Bretaña.
- [2] Ávila, R. y Prado L. R., *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana*, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jal.
- [3] Azkeland, Donald., 1998, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Tercera Edición, International Thompson Editores, USA.
- [4] Campbell., 2010, *Structural Composite Materials*. ASM International. USA
- [5] Daniel, I., 1994, *Engineering Mechanics of Composite Materials*, Oxford University Press.
- [6] Gerdeen, James., 2006, *Engineering Design with Polymers and Composites*, Primera Edición, Taylor & Francis Group, USA.
- [7] Gibson, Ronald, 1994, *Principles of Composite Materials Mechanics*, McGraw Hill, USA.
- [8] Harris, Bryan., 1999, *Engineering Composite Materials*. Institute of Materials, Londres.
- [9] Hull, Derek., 1981. *An introduction to composite materials*, Primera Edición, Cambridge University Press, Gran Bretaña.
- [10] Jones, Robert., 1999, *Mechanics of Composite Materials*, Segunda Edición, Taylor & Francis Group, USA.
- [11] Kaw, Autar., 2006, *Mechanics of Composite Materials*, Segunda Edición, Taylor & Francis Group, USA.
- [12] Lom, Antonio., 2009, *Áreas integrales del diseño industrial. Percepción, metodologías, manufactura y ergonomía*, Primera Edición, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.
- [13] Long, 2005, *Design and manufacture of Textile Composites.*, Primera Edición, Woodhead Publishing in Textiles & Textile Insistute, USA.
- [14] Llano, Carolina., 2009 "Fibra de Carbono, Presente y futuro de un material revolucionario". *Metal Actual* [versión electrónica]. Edición 11°. Consulta: enero 2018. Disponible en: [http://www.metalactual.com/ediciones.php?ed\\_id=11](http://www.metalactual.com/ediciones.php?ed_id=11)

- [15] Mangonon, Pat., 2001, *Ciencia de Materiales. Selección y Diseño*, Primera Edición, Pearson Education, USA.
- [16] Miravete, Antonio, 2002, “*Materiales Compuestos*”. *Temas de Disseny*, Num. 20, P. 123-139.
- [17] MIT, 2018, “*Materials Chemistry*”, Recuperado el 10 de enero del 2018, de [http://web.mit.edu/3.082/www/team2\\_f01/chemistry.html](http://web.mit.edu/3.082/www/team2_f01/chemistry.html)
- [18] Reifsnider., 1991, *Fatigue of Composite Materials Vol. 4*, Elsevier Science.
- [19] Shakelford, James., 2005, *Introducción a la ciencia de los materiales para ingenieros*, Sexta Edición, Pearson, USA.
- [20] Sharp, Archibald., 1896, *Bicycles and Tricycles*, Longmans Green and Co, Harvard, USA.
- [21] Smith, William., 2006, *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, Cuarta Edición, Mc Graw Hill, USA.
- [22] Stupenengo, Franco., 2011, *Materiales y Materias Primas. Capítulo 10: Materiales Compuestos*, Colección Encuentro Inet, Argentina.
- [23] U.S. Department of Defense., 2002, *Composite Materials Handbook. Volume 3. Polymer Matrix Composites Materials Usage, Design, and Analysis*. P.2-1 a 2-6, 2-30.
- [24] U.S. Department of Transportation; Federal Aviation Administration, 2012, *Aviation Maintenance Technician Handbook-Airframe Vol. 1*. P. 7-1 a 7-58.