



[191005]Diseño del puesto de trabajo de los conductores de Bicitaxi para mitigar los factores de riesgos laborales

Jaime Alejandro Avellaneda Machetá ^{a, c}, Juan Diego Bautista Vásquez ^{a, c}, Juan Pablo Guerrero Vergel ^{a, c}, Laura Dayana Meneses Caycedo ^{a, c}

Leonardo Augusto Quintana Jiménez ^{b, c}, Daniel Francisco Hoyos Caviedes ^{b, c}

^a *Estudiantes de Ingeniería Industrial*

^b *Profesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial*

^c *Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia*

Abstract

In Bogotá, Colombia, the activity of the bike taxis (cycle rickshaws) is not yet regularized. Despite the mayoralty initiatives to censor 4,646 vehicles and the Veeduría to regulate its components, there is still no standardized design that guarantees good working conditions for the driver and safety, comfort and inclusion conditions for passengers. This is why the objective of this study was to design a bike taxi with better ergonomic, aerodynamic and safety properties compared to some of the current designs.

The first two preliminary designs were created from anthropometric information of the driver population collected by the researchers. These designs with different shapes and wheel composition were subjected to flow simulations in SolidWorks to determine if there were considerable improvements in performance. As the two designs were remarkably better than the current design, one of them was chosen because of manufacturing costs, technical feasibility and overall structural weight.

Following the shape of the chosen design, the dimensions of the cabin were determined using the anthropometric measurements processed by a statistical analysis. With these dimensions and taking into account national technical standards of accessibility, the structural design of the bike taxi base was created. Then it was subjected to tests of static analysis of SolidWorks to ensure that the structure was suitable for construction in accordance with the technical regulation of the RFEa.

After verifying that the structure of the base meets these standards, two designs of the roof structure were created. This structure is lighter than the base and will only support the tarpaulin that covers the vehicle. To choose between the two designs, a semantic differential

test was carried out for the two roof designs and for the current design. The test resulted in drivers and passengers preferring one of the designs created by the researchers.

The blueprints of the complete chassis of the bike taxi were generated and the flow simulation was done again to measure the aerodynamic design performance. As the aerodynamic performance worsened with respect to the first preliminary designs, the rear part of the vehicle was modified, with which the air resistance was greatly reduced. The final design is shown in illustration 1, 2 and 3.

Subsequently, the structure of the base was manufactured with the material defined in the static analysis and all the necessary elements were coupled to make it functional. This prototype allowed researchers to carry out the Frimat test on one of the current models and the prototype with simulated weight. The result was that the prototype manufactured by the researchers reduced the physical load of the drivers throughout the day. Other self-report methods also showed the improvement of the final design compared to the current one.

All procedures were carried out in accordance with Colombian Technical Standard NTC 5655, which establishes principles for the ergonomic design of work systems, which will specifically take into account the Environment, Medium, Fatigue and Workstation. In addition, following different rules and documentation, the researchers created a technical data sheet with the elements that the rickshaw must have following different standards, safety requirements and legal papers.



Ilustración 1, 2, 3. Diseño final. (Elaboración propia, 2019).

Palabras clave: Bicitaxismo, Diseño, Ergonomía, Factores ambientales, Riesgos laborales, Aerodinámica, Análisis Estadístico, Transporte público.

1. Justificación

El crecimiento constante de las ciudades a nivel mundial exige sistemas de transporte público planificados, esto con el objetivo de satisfacer las necesidades de desplazamiento de los usuarios. En América Latina, el diseño de estos sistemas no es un factor principal; por lo cual, la articulación entre el diseño y el desarrollo urbano queda en un segundo plano y, en consecuencia, la calidad de vida de las personas se afecta negativamente (Dueñas, 2017).

Para mitigar la situación descrita anteriormente en distintas ciudades se crearon los Bicitaxis. Estos son un medio de transporte alternativo que recorre distancias cortas y específicas, sin necesidad de utilizar las troncales, como lo suelen hacer los servicios de

transporte urbano (Universidad Católica de Chile, 2016). De este modo, los Bicitaxis en Bogotá surgen en la década de los noventa respondiendo a las necesidades que crea la ausencia o ineficiencia del transporte público (Aranzales, 2017).

En el 2019, la Alcaldía Mayor de Bogotá realizó un censo en la ciudad, que dio como resultado 4.646 vehículos de Bicitaxi que están distribuidos de la siguiente manera: con motor a combustión (51%), no motorizado (40%), con motor eléctrico (6%) y pedaleo asistido (3%). Los cuales en su mayoría se encuentran en localidades como Kennedy y Bosa, ya que concentran el 63% del total de vehículos (Secretaría Distrital de Movilidad, 2019).

En esta actividad se han caracterizado 5.535 personas [dedicadas a esta actividad](#), donde el 40% son únicamente conductores, 35% propietarios y conductores, y 24% únicamente propietarios. De esta caracterización se obtuvo que el 90% de estas personas tienen al bicitaxismo como única fuente de ingreso, el 27% son de nacionalidad venezolana y el 16% son mujeres. (Secretaría Distrital de Movilidad, 2019).

Esto pone en evidencia que esta labor ha cobrado importancia en el contexto de la ciudad, ya que los conductores han aprovechado la aglomeración de usuarios en lugares como las estaciones de Transmilenio, para brindar un servicio en un radio no mayor a los dos kilómetros, con capacidad de dos pasajeros y con velocidad promedio de 15 km/h (Aranzales, 2017).

Dada la gran cantidad de conductores de Bicitaxi, el Estado busca reglamentar esta labor para mejorar la seguridad de los usuarios y la calidad de vida de los conductores (Veeduría Distrital, 2014). En ese sentido, surgió la resolución 3256 del 3 de agosto de 2018 que reglamenta y da autorización a la prestación de servicio de transporte público por triciclos no motorizados y con pedaleo asistido, es decir, vehículo de tres ruedas accionado con el esfuerzo físico o auxiliado con motor eléctrico que alcance una velocidad no mayor a 25 km/h (Ministerio de transporte, 2018).

Además, la resolución especifica que la herramienta de trabajo de esta actividad debe estar en mantenimiento preventivo por lo menos cada seis meses. De ese modo, se garantizará el adecuado funcionamiento de su estructura, que incluye bases con suspensión, conjunto base tenedor delantero, bastidor, tornillos, guardabarros, base de manubrio, sillines, postes o varillas de sillines, ruedas llantas o neumáticos, pedales, sistema de transmisión, cadena motriz y su protección, disco protector de radios, sistema de retención de los pasajeros, sistemas de frenos, dirección, suspensión, luces, timbres y espejos ([Resolución 3256](#), 2018). Sin embargo, la resolución no define estándares y no tiene en cuenta los factores de riesgo en la salud de quienes ejercen esta labor; lo que no es un elemento menor,

En ese sentido, se comienza a mostrar que el conductor del Bicitaxi no tiene una buena relación con los elementos que conforman su puesto de trabajo. Para el adecuado desarrollo de las actividades, un puesto de trabajo tiene en cuenta factores sociológicos, psicológicos y fisiológicos, incluso, es recomendable tener un diseño ergonómico que verifique las dimensiones corporales, el gasto energético y los esfuerzos de un trabajador al desempeñar su labor (Gómez, 2002).

Ahora bien, cuando se habla del puesto de trabajo se refiere a la relación persona-herramienta y esta relación se define en tres tipos: las dimensionales, las informativas y las de control (Chiner, 2004). Las relaciones dimensionales buscan la compatibilidad de la antropometría dinámica de la persona con la herramienta; las relaciones informativas analizan la capacidad de la persona para percibir la información que afecte la labor, ya sean sonoras, visuales o táctiles y, por último, las relaciones de control se encargan de verificar la satisfacción de las necesidades del cliente y la eficiencia, seguridad y bienestar del proceso (Chiner, 2004).

En el caso concreto de los conductores de Bicitaxi, es importante que el conductor tenga una relación adecuada antropométricamente con su herramienta de trabajo; la cual está dividida en dos partes: la parte delantera que es donde el conductor ejerce el esfuerzo para dar movimiento al Bicitaxi y la parte trasera, en donde el cliente adopta una postura sedente durante su desplazamiento. De igual manera, es necesario tener en cuenta que el puesto de trabajo del conductor está expuesto a la intemperie, donde la relación informativa se da, por ejemplo, por la señalización de las vías, los sonidos del tráfico, entre otros.

Los siguientes estudios corroboran la importancia de una adecuada relación entre el trabajador y el puesto de trabajo. De acuerdo con una investigación sobre los desórdenes musculoesqueléticos de origen laboral, las aproximaciones a dichas lesiones en Colombia se han quedado en una etapa de diagnóstico en la que existen programas que intervienen clínicamente, pero las estrategias de prevención han sido limitadas. En ese sentido, se enfatiza en la importancia de fomentar la inversión de productos con características ergonómicas como estrategia de prevención (Rincones, 2016); bajo este contexto se hace aún más apremiante estudiar los componentes del puesto de trabajo del conductor de Bicitaxi teniendo en cuenta los factores ergonómicos del mismo.

De igual forma, otra investigación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas determinó que es necesario modificar el diseño actual del Bicitaxi con el fin de mejorar las posturas del conductor. Debido a que están expuestos a riesgos asociados a ergonomía causados por la adopción de posturas incorrectas, entre las que se destaca la rotación del hombro para accionar el freno, la constante flexión de las rodillas al pedalear y el esfuerzo físico necesario para poner en movimiento el vehículo (Delgado, 2016).

Al igual que en una moto, la postura del conductor de Bicitaxi está determinada por parámetros de diseño como: la altura, los ángulos, la localización de los pedales, el asiento o manubrio y las dimensiones físicas del conductor (la longitud de su torso, brazo, muslo o pierna). Por tanto, al no permanecer en una posición neutral, el cuello y los hombros están expuestos al desarrollo de desórdenes musculoesqueléticos (Alias, 2016). De esta forma, al realizar un rediseño de la herramienta de trabajo, los parámetros y dimensiones físicas del conductor de Bicitaxi se obtiene como resultado una postura que disminuye el riesgo a sufrir estos desórdenes.

Por otro lado, respecto al esfuerzo físico que lleva a cabo el conductor de Bicitaxi, los Bicitaxis usan un sistema de transmisión de potencia que consiste en dos catarinas, una

cadena de rodillos y un tensor similares a los que usan las bicicletas. El sistema de transmisión de las bicicletas está diseñado para cargas más livianas y para alcanzar mayores velocidades que los 25 km/h que tienen permitido los Bicitaxis (Ministerio de transporte, 2018). Los conductores deben mover un Bicitaxi con un peso no mayor a 250 kg (Ministerio de transporte, 2018).

En lo que respecta a los factores del ambiente, los Bicitaxis se asemejan a las condiciones del entorno que tienen los motociclistas, ya que no cuentan con una protección adecuada. En primer lugar, comparten la vía con vehículos más rápidos, grandes y pesados que los hacen menos visibles y, dificultan la visión lateral y la audición (Alias, 2016). Esto, por supuesto, repercute de forma desfavorable para los conductores de Bicitaxis. Por eso es necesario tomar en cuenta los factores de seguridad vial tanto en las modificaciones estructurales de la herramienta de trabajo, como en la indumentaria que usa el conductor.

En cuanto a factores fisiológicos, de nuevo, los motociclistas son un buen ejemplo, pues, cuando manejan hasta el punto del agotamiento, independientemente del motivo, son proclives a presentar estrés muscular, estrés térmico o estrés por sonidos. El problema recae en que el estrés o la ansiedad incrementan la posibilidad de sufrir accidentes (Alias, 2016). Los conductores de Bicitaxi no están exentos a padecer esto, por lo cual es indispensable un estudio para conocer en qué nivel de riesgo se puede encontrar.

De igual manera, como otro factor fisiológico se puede realizar el cálculo del gasto energético con respecto a una actividad laboral, por lo cual, es posible medir la frecuencia cardiaca [y presentar la penosidad en la que se clasifica esta labor, por medio de métodos como el Criterio Frimat](#). (Llaneza, 2007).

En conclusión, es evidente la necesidad de desarrollar un Bicitaxi con características ergonómicas para la prevención de riesgos a la salud. Para esto es importante tener en cuenta factores de riesgo externos y de seguridad vial tanto en las modificaciones estructurales de la herramienta de trabajo, como en la indumentaria que usa el conductor. Por esto se busca dar una solución sobre ¿cuál debe ser el diseño del puesto de trabajo para mitigar los riesgos laborales de los conductores de bicitaxi?

2. Antecedentes

El problema de diseño de productos que se adapten a la antropometría de la persona es tratado por varios autores (Pequini, 2005) que proponen directrices para el correcto diseño de una bicicleta teniendo en cuenta las dimensiones humanas de la población estudiada. De esta forma, según Pequini, existen ocho variables que determinan la estructura de la bicicleta y cuatro que afectan la posición del sillín. También realiza recomendaciones en cuanto al rango de ángulos entre segmentos corporales que ofrecen mayor seguridad, comodidad y eficiencia (Pequini, 2005). Cabe destacar que las recomendaciones están enfocadas en el diseño de bicicletas deportivas o recreativas, en las que se proyecta que el conductor no movilice grandes pesos ni permanezca en el vehículo durante una jornada laboral. Esto hace necesario usar otros métodos para evaluar la postura de los miembros superiores en el diseño de un bicitaxi.

Asimismo, el problema del diseño estructural en bicicletas ha despertado el interés de investigadores que buscan mejorar el rendimiento del pedaleo aumentando el índice de efectividad de la labor. Por lo cual, se han desarrollado diseños como la modificación de la estructura del vehículo con el fin de ampliar la distancia entre el sillín y los pedales, de forma que se incremente la eficiencia de la potencia al pedalear (Menard, 2016). Sin embargo, tal diseño no contempla factores ergonómicos en el diseño de un Bicitaxi, lo ideal es complementar la distancia entre sillín y pedal con parámetros de diseño que componen la ergonomía.

Con el propósito de determinar la importancia de los ajustes de la bicicleta en la prevención de lesiones, se realiza una investigación basada en los daños más frecuentes que sufren los ciclistas, los cuales son en su mayoría de tipo cérico-dorsalgias y problemas del aparato extensor de la rodilla. En ese orden de ideas, se establece una serie de ajustes encaminados a adaptar la bicicleta a la morfología del usuario para que garantice comodidad, naturalidad, seguridad y maniobrabilidad. Además de esto, se recomienda que, en la biomecánica del pedaleo, la rodilla debe estar flexionada 115° cuando el pie se encuentra en posición superior del pedaleo y 30° cuando se encuentra en posición inferior del pedaleo con el fin de no generar lesiones (Gómez, 2008). Aunque dicho estudio fue realizado en usuarios de bicicletas de velocidad, esta investigación resulta adecuada para conocer el ángulo de flexión que disminuya las lesiones en conductores de Bicitaxi.

No obstante, aparte de soluciones que reduzcan el riesgo de padecer desórdenes musculoesqueléticos, se pueden tener en cuenta herramientas complementarias para la seguridad en la conducción de Bicitaxi, por ejemplo, se ha propuesto la implementación y utilización de espejos que permitan al conductor ver la parte trasera del vehículo; de reflectores para su identificación en las noches; de implementos de seguridad y de capas protectoras para la lluvia (Rao, 2002). Por lo cual, es necesario realizar una selección adecuada de dichos elementos, para garantizar condiciones favorables de trabajo al conductor del Bicitaxi, teniendo en cuenta el impacto económico y los riesgos asociados a la conducción.

Por otra parte, en 2017 fue realizado un estudio con el fin de valorar las condiciones laborales de los conductores de Bicitaxi de la asociación ASOPROBISUBA. Este estudio concluye que los conductores de Bicitaxis presentan sensaciones térmicas por el desgaste metabólico a través del tiempo de trabajo, de alrededor 272 Kcal/h, por lo cual se sugiere que el conductor de Bicitaxi deba tener pausas durante su jornada laboral (Guio, 2017).

Además, se definieron las distancias mínimas que debe guardar el Bicitaxi respecto a los demás agentes de la vía y se evaluaron los riesgos musculoesqueléticos siguiendo el formato ERIN y las normas NTC 4114, UNE NTP 182, NTP 322 y NTC 31010, para finalmente concluir un estudio completamente descriptivo (Guio, 2017). En dicho estudio, se obtuvieron datos de gran valor, sin embargo, no se hizo ningún proceso de diseño en cuanto al Bicitaxi o al puesto de trabajo del conductor.

3. Objetivos

General: *Diseñar el puesto de trabajo del conductor de bicitaxi para mitigar los factores de riesgo laborales.*

Específicos:

1. Diseñar el puesto de trabajo del conductor y la cabina de transporte del Bicitaxi.
2. Determinar elementos de seguridad que permitan mitigar la exposición de los conductores y pasajeros a riesgos externos ocasionados por el ambiente.
3. Evaluar el diseño final y determinar características necesarias para su fabricación.
4. Realizar un análisis económico de la situación actual y la propuesta para determinar la más adecuada.

4. Cuerpo del documento

Para el desarrollo del trabajo de grado se utilizó la metodología DMAIC de la siguiente manera: (Mast, 2012).

Definición y medición: Recolección de información mediante auto informes, mediciones antropométricas, medición de riesgos ambientales y valoración de la carga física.

Investigación y análisis: Revisión de literatura y análisis de resultados de la información recolectada teniendo en cuenta la declaración de diseño, su proceso, pruebas de rendimiento, restricciones y cumplimiento tanto normativo, sin dejar de lado la percepción de las personas que intervienen en esta labor.

Mejorar y controlar: De acuerdo con el análisis respectivo de la situación actual se abordan criterios informativos y técnicos que se requieren para iniciar la estandarización de los Bicitaxis. De igual manera se realiza el cálculo de los costos y su respectivo flujo de caja.

Dado lo anterior, se utilizaron las fases de diseño y las recomendaciones estipuladas en la NTC 5655 para el diseño de sistemas de trabajo ergonómicos teniendo en cuenta el alcance del proyecto:

- Formular objetivos.
- Análisis y asignación de funciones.
- Diseño conceptual.
- Diseño detallado.
- Realización, implementación, ajuste, verificación y validación.
- Evaluación y seguimiento. (Norma 5665, 2008)

1. *Definir y medir*

1.1 Encuestas Anexo 1. Encuestas

Las encuestas se realizaron con la finalidad de conocer la opinión de las personas involucradas con el puesto de trabajo de los conductores de Bicitaxi, por lo cual, se encuestó a una muestra representativa de conductores y pasajeros.

El estudio se centró en conocer la percepción de estas personas mediante preguntas multi-respuesta. (Casas, 2003). Dichas preguntas abordaron temas como la periodicidad de uso, la inversión realizada, el retorno que considera le deja este servicio, las dolencias que ha presentado o las mejoras que considera son necesarias para implementar.

- Conductores:

Según un estudio elaborado por la Alcaldía Mayor de Bogotá, la población de conductores de bicitaxi es de 4.169 (Secretaría Distrital de Movilidad, 2019). Dado lo anterior, con una confianza del 95% y un error del 5%, se encuestó a 100 conductores. Algunos de los resultados más relevantes fueron los siguientes:

El 40% de los conductores consideran que es muy importante la prevención de riesgos físicos en la labor y han expresado dolencias en diferentes partes del cuerpo. Siguiendo con esto, definieron en una lista de mayor a menor importancia los riesgos a los que se enfrentan: accidentes por mala señalización e iluminación, daño en articulaciones por constante ejercicio, riesgos por ruido, por contaminación, problemas respiratorios por el clima y riesgos por quemaduras.

Dentro de las modificaciones que quisieran los conductores en su puesto de trabajo, se encuentran consideraciones como la implementación de un sistema de iluminación, una cabina más amplia con protección a lluvia, la posible adaptación de las distancias del manubrio, incluyendo elementos de seguridad como casco, timbre, rodilleras o silla que tenga espaldar

- Pasajeros:

De igual manera se realizó una encuesta para caracterizar y conocer la opinión o percepción de los pasajeros que utilizan este servicio, por lo cual se escogió una muestra representativa y aleatoria de 100 pasajeros.

Se identificó que el 53% de las personas usa el servicio regularmente, dando como resultado que al menos el 57% lo usa 1 vez al día en recorridos promedio de seis minutos. El rango de edad en el que se encuentran la mayoría de las personas es de 15 a 39 años, siendo un 52% mujeres.

Dentro de las razones de uso de este medio de transporte, se identificaron dos representativas, el tiempo del recorrido y la seguridad. De igual manera, las personas

consideran que es muy importante la prevención de riesgos físicos al usar el servicio, ya que, por ejemplo, el 26% manifiestan haber sentido dolor de espalda.

Dado lo anterior, consideran que las modificaciones que se deberían realizar al Bicitaxi deberían ser tanto estructurales, como legales. Las personas expresan que les gustaría una cabina cerrada y más amplia, con protección para la lluvia, la cual incluya elementos de seguridad y no afecte el medio ambiente. Por otra parte, consideran necesario que los conductores y los vehículos cuenten con documentación, que exista un seguro contra accidentes, que haya una regulación de las tarifas y así mismo, este medio de transporte pueda ser un nodo del sistema de transporte de la ciudad.

Los formularios y el análisis de las respuestas se pueden observar en la carpeta Anexo 1.

1.2 *Casa de la calidad*

La casa de la calidad es una herramienta funcional para evaluar la relación que hay entre las necesidades de los clientes y las características técnicas que podría tener el producto final (Alcalde, 2009). Esta interrelación se define en una matriz con las siguientes puntuaciones: 9 si es fuerte, 3 si es media y 1 si es débil. Dicha puntuación es multiplicada por el valor de importancia que asigne el cliente, y así, se puede definir el valor de la prioridad (Alcalde, 2009).

En este caso, se definieron necesidades tanto de los pasajeros como de los conductores, de acuerdo con las encuestas realizadas en el apartado anterior, ya que los dos son usuarios de este medio de transporte. En dichas encuestas, se preguntó acerca de las incomodidades percibidas con el bicitaxi actual y los requerimientos que desearían que tuviera un nuevo diseño como se puede evidenciar en la carpeta Anexo 1, para así, hallar los porcentajes de afinidad con cada uno de estos.

¿Cómo? ¿Qué?	Importancia	Diseño	Equipo de seguridad conductor	Aplicación	Elementos del Bicitaxi	Sistema mecánico	Requerimientos técnicos	Equipo de prevención	Equipo de seguridad pasajeros	Ficha informativa
Seguridad	5	3	9	3	9	3	9	9	9	1
Comodidad	2	9	1		3		3	3	9	
Amplitud de la cabina	5	9					1	3		
Cabina con material maleable	4	9					3	1		
Ventilación	2	3			3		1	1	3	
Con vista al exterior	1	3			3		1			
Iluminación interna	1	3	1		3		1	1	3	
Contaminación	2	1					3			
Doc. Legal vehículo	3		1	3			1			9
Doc. Legal Conductor	3		1	3			1			9
Visibilidad conductor	4	9	1		3			3		
Inclusión discapacitados	2	9	3	1	9			1	9	
Seguridad física del conductor	4	3	9	1	3			9	9	
Importancia técnica		194	100	39	105	15	84	123	126	59

Tabla 1. Casa de la calidad. (Elaboración propia, 2019).

Como se puede observar en la tabla 1, se realizó la casa de la calidad evaluando la relación entre las necesidades de los conductores y pasajeros junto con los requerimientos esperados del diseño, para determinar qué factores tendrían la importancia técnica más alta. Como consecuencia a esto, los resultados de prioridad fueron en el siguiente orden: diseño, equipo de seguridad de pasajeros, equipo de prevención, elementos del Bicitaxi, equipo de seguridad conductores, requerimientos técnicos, ficha informativa, aplicación web y sistema mecánico.

Dado lo anterior, y el valor de la prioridad, los factores que se verán reflejados **en el trabajo serán**: diseño, equipos de seguridad, elementos del Bicitaxi, y equipo de prevención.

1.3 Trastornos musculoesqueléticos.

Los siguientes apartados son algunos métodos que permiten la evaluación de desórdenes musculoesqueléticos para el rediseño de un puesto de trabajo:

- Método basado en Auto-informes:

Estos métodos se encargan de la recolección de información de la opinión de los trabajadores, pues expresan los riesgos físicos y psicosociales que identifican por medio de técnicas como entrevistas, cuestionarios, encuestas o bitácoras de historial médico. (Geoffrey, 2005). Por lo cual, se decidió abordar este método utilizando la información recolectada en las encuestas a una muestra representativa de la población como se mencionó anteriormente y como se puede evidenciar en la carpeta Anexo 1. En la tabla 2 se pueden evidenciar las dolencias presentadas por los conductores.

Incomodidades presentados en los conductores	
Cabeza	34%
Tobillos	32%
Cuello	26%
Cadera	26%
Espalda	22%
Glúteos	9%
Piernas	4%
Pecho	1%
Brazo	1%
Manos	1%

Tabla 2. Dolores presentados en conductores. (Elaboración propia, 2019)

De acuerdo con los resultados de la encuesta reflejados en la tabla 2, se encontró que los principales dolores presentados por los conductores se centran en la cabeza, tobillos, cuello y cadera. Por lo cual, se confirma la necesidad de realizar un rediseño del puesto de trabajo, teniendo en cuenta los dolores que padecen en miembros superiores e inferiores.

- Técnicas Observacionales Avanzadas y Directas de Medición: [Anexo 2. MOCAP](#)

Estos métodos consisten en la identificación del cambio postural mediante diferentes equipos especializados, reduciendo la subjetividad que pueda agregar el

observador. Dentro de las técnicas más famosas están el *Motion Capture Analysis*, *Biomechanical models* y *Electro goniometría* (Geoffrey, 2005).

Para esto es necesario realizar un protocolo en el cual se identifiquen los requerimientos, necesidades, actividades y limitaciones. Este protocolo se encuentra en el anexo 2.

1.4 Levantamiento y medición de datos

- Mediciones antropométricas [Anexo 3. Antropometría](#)

Se seleccionaron 18 medidas antropométricas en posturas bípeda y sedente que fueran funcionales para el rediseño del puesto de trabajo de los conductores de acuerdo a [Chiner en el libro Laboratorio de Ergonomía \(2004\)](#), tales como, estatura, [altura trocantérica](#), [nalgapoplítea](#), [alcance máximo y mínimo con agarre](#), entre otros. Dado esto, se realizó medición de dichas variables con un antropómetro a una muestra representativa de la población, es decir, a 100 conductores, como se justificó anteriormente. Estas mediciones fueron tomadas a [de hombres y mujeres de acuerdo a la proporción que estableció el estudio de la Alcaldía Mayor de Bogotá](#), para la caracterización de los conductores.

Consecuentemente, para el diseño fue necesario definir los percentiles, ya que permiten establecer límites de acuerdo a las variaciones en el cuerpo humano de los individuos. Se utilizarán de forma tal, que el diseño se ajuste al 90% de la población. Usualmente se utiliza 95° percentil para dimensiones máximas y el 5° percentil para dimensiones mínimas (Martín, 2010).

De cada variable se obtuvieron los percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, datos que son utilizados para que el diseño de la cabina se pueda acoplar a cada individuo de la población dentro de los ángulos de confort establecidos (Kee, 2001) para así, [evitar aumentar los niveles de riesgo y evitar exponer al trabajador a nuevos riesgos producto del desarrollo de la jornada](#).

Por otra parte, los intervalos de confianza también describen la variabilidad entre la media obtenida en la muestra y la media de la población. (Caiozzi, 2005). Por lo cual, a cada variable se le calculó el intervalo de confianza entorno a la media poblacional.

El uso de percentiles o intervalos de confianza para el diseño del prototipo se tomó a criterio de los investigadores bajo los parámetros mencionados en la tabla 3.

MEDIDA	CRITERIO		
	P 5	P 95	Intervalo de confianza
Estatura	X	X	X
Altura trocánterica	X	X	X
Altura sentado	Inclinación soporte lumbar	Altura silla conductor e Inclinación soporte lumbar	X
Altura de ojos	Límite de cubierta transparente	Límite de cubierta transparente	X
Altura subescapular	Área de alcance	Área de alcance	X
Altura de codos-asiento	Área de alcance	Área de alcance	X
Altura de rodilla	Distancia pedal-silla	Distancia pedal-silla	X
Altura poplítea	X	X	Altura silla pasajeros
Anchura bideltóidea	X	Ancho espacio para pasajeros	X
Anchura codo-codo	X	X	X
Anchura de cadera	X	Ancho silla pasajeros	X
Distancia hombro-codo	X	X	X
Distancia codo-muñeca	X	X	X
Distancia muñeca-dedos	X	X	X
Distancia nalga-poplítea	Longitud máxima silla	X	X
Distancia nalga-rotula	Distancia pedal-silla	Distancia pedal-silla	X
Alcance horizontal máximo con agarre	X	X	Área de alcance
Alcance horizontal mínimo con agarre	Área de alcance	Área de alcance	X
Peso	X	Prueba Frimat	X

Tabla 3. Variables antropométricas y su criterio. (Elaboración propia, 2019)

- Mediciones ambientales [Anexo 4. Ambiente](#)

Se registró información de los factores ambientales aleatoriamente durante 21 días en 3 momentos del día (Mañana: 7 AM - 11 AM, Tarde: 12 M - 4 PM, Noche: 7 PM - 9 PM).

Ruido: Se realizaron las mediciones con un sonómetro marca Extech con el fin de obtener el nivel de ruido al cual están expuesto los conductores de Bicitaxi, se realizaron las mediciones en 3 momentos del día: mañana, tarde y noche, en unos intervalos de tiempo para cada momento (Mañana: 7 AM - 11 AM, Tarde: 12 M - 4 PM, Noche: 7 PM - 9 PM)

El sonómetro se encuentra ubicado en la cabina del conductor a una altura de 1,6 metros del nivel del suelo en punto fijo, se registraron los datos para cada momento, durante 21 días.

	Sonido (dB)		
	Mañana	Tarde	Noche
Máximo	83,1	83,7	83,8
Mínimo	72,1	72,1	73,4

Tabla 4. Resultados prueba sonido

En la tabla 5 se puede observar los valores máximos y mínimos que se obtienen de los 21 días de medición para cada uno de los momentos del día evaluados.

Aunque los valores máximos anteriormente mencionados no superan los 85 dB durante 8 horas diarias, por lo cual el riesgo de pérdida auditiva es mínimo al cabo de 10 a 20 años, es imposible evitar o disminuir lo suficiente el ruido debido a la naturaleza de la actividad, ya que se encuentra expuesto a un ambiente abierto y no controlable, por lo tanto no existe más alternativa que acudir a medidas de protección individual como la reducción del tiempo de exposición y la rotación de trabajadores por los puestos de trabajo. (Bernabéu, 2007)

Estrés térmico: Las mediciones de temperatura se realizaron con un medidor de estrés térmico marca Extech, con el fin de obtener el nivel de temperatura a la cual se encuentran expuestos los conductores de Bicitaxis.

De esta manera se registraron los datos de la calle 150 con autopista norte durante 21 días, en 3 momentos del día, como se mencionan a continuación: (Mañana: 7 AM - 11 AM, Tarde: 12 M - 4 PM, Noche: 7 PM - 9 PM)

Se ubicó el medidor de estrés térmico a una altura de un metro sobre el nivel del suelo, dejando el termómetro cinco minutos en este punto y posteriormente se procede a tomar la medida WBGT y humedad relativa del instrumento de estrés térmico.

Al realizar el análisis de los datos, se encontró que la temperatura promedio es menor en las noches (9.8°), seguido por las mañanas (12.3°), y por último las tardes (16.8°). Adicionalmente, la humedad también tiene un valor importante en la sensación térmica, la cual, en Bogotá oscila entre el 77% y 83% (Ideam, s.f.). Con esta humedad la sensación térmica puede aumentar entre un 11% y 14%.

Adicional a esto, la energía producida por el metabolismo está directamente relacionada con la actividad desarrollada, ya que el proceso metabólico produce un exceso de energía al realizar un determinado trabajo, para una actividad clasificada como trabajo intenso, la energía producida está entre los 430w y 600 w lo que representa entre 357 Kcal/hora y 447 Kcal/hora (Kodak, 2004)

Dado lo anterior es importante que en las mañanas y en las noches, los conductores cuenten con elementos de protección contra las variaciones de temperatura de Bogotá, y en las tardes se adopten hábitos de hidratación, dado que, con el ejercicio, el estómago se vacía mucho más rápido con líquidos frescos, por tal razón es importante una hidratación frecuente a lo largo de la actividad (Baker, 2002)

Iluminación: Las mediciones se realizaron con un Luxómetro marca Extech con el fin de obtener el nivel de iluminación que reciben los conductores en la noche en la calle 150 con autopista norte, Bogotá.

Se registraron datos con el luxómetro durante 21 días en una franja nocturna de 7 PM - 9 PM, se tomaron los datos para un recorrido de 100 metros donde inician las rutas del bicitaxismo, en intervalos de 10 metros para obtener un total de 10 datos por noche. La ubicación del luxómetro para cada medida se realizó al nivel del suelo.

El promedio de lux en las noches en los puestos de trabajo de los bicitaxistas donde se tomaron los registros es de 30.5 Lux, aunque se encuentra dentro del rango para zonas públicas (20 lux - 50 lux), no es un nivel de iluminancia recomendada para la actividad que se desarrolla, pues depender únicamente del alumbrado público para conducir durante el trayecto, provocaría fatiga visual, y por consiguiente aumenta la probabilidad de generar un accidente.

En este sentido las luces son un elemento esencial para circular de noche y en situaciones climatológicas adversas (DGT, 2018), por lo cual es importante implementar un sistema de iluminación, de tal manera que se ilumine 60 metros adelante del vehículo (DGT, 2018)

- Criterio Frimat Anexo 5. FRIMAT.

El criterio Frimat es funcional si se asocia a ciclos cortos de la jornada laboral en condiciones térmicas neutras en tres momentos definidos como:

1. Frecuencia cardiaca basal: Es la moda de la frecuencia cardiaca cuando el trabajador está en reposo antes de iniciar la jornada laboral.
2. Frecuencia cardiaca media: Es la media de la frecuencia cardiaca durante un ciclo del trabajo en esfuerzo normal.
3. Frecuencia cardiaca máxima: Es el valor máximo o percentil 95 del tiempo registrado durante un ciclo de trabajo en esfuerzo máximo (Llaneza, 2007).

Con base en la medición de estos ciclos de trabajo, se calcula la frecuencia cardiaca máxima teórica mediante la edad de la persona, se calcula el incremento de la frecuencia durante la actividad, y los costes cardiacos absoluto y relativo, para así, conocer el coste físico, la adaptación física del trabajador y definir el nivel de penosidad de la labor (Llaneza, 2007).

Como se mencionó anteriormente, en tres momentos fueron medidos diez conductores durante de cinco minutos, con un reloj Polar M400, el cual nos arrojó 300 datos por persona (un dato por segundo). Los conductores que realizaron la prueba fueron escogidos por medio de un formato de caracterización, en el cual se conoció su estado de salud, sus antecedentes médicos y hábitos alimenticios, con la finalidad de seleccionar aquellos perfiles que se considerarán no estarían propensos a sufrir una condición médica durante la prueba, y en general, que no afectará significativamente el rendimiento de esta. De igual manera, los conductores firmaron.

Dentro de los antecedentes que se especificaron fueron: Información personal, Condiciones actuales, Historia médica, Antecedentes ocupacionales y hábitos. A continuación, se encuentra el formato: caracterización mediante el cual se realizó la selección de los conductores con el fin de eliminar condiciones que pudieran afectar el desempeño de la prueba o perjudicar al conductor al momento de realizarla. Adicional a esto se les realizó un consentimiento informado.

Además, se tuvieron en cuenta criterios en condición de aleatoriedad acorde a los recursos económicos disponibles. La prueba fue realizada en un tramo de 180 metros a la redonda, entre la carrera 17 y carrera 15 con calle 145, con un Bicitaxi aleatorio ubicado en el punto de la estación de Transmilenio de la calle 142 con autopista norte.

Finalmente, esta prueba dio como resultado una valoración de penosidad máxima, ya que en todos los casos dio un valor superior a 25. Lo cual, según el criterio Frimat es definida una labor extremadamente dura (Llaneza, 2007). Además, se debe tener en cuenta que la frecuencia máxima teórica define el valor máximo que debería registrar la frecuencia cardíaca de acuerdo a la edad de la persona (Llaneza, 2007). En este caso, dicho valor fue superado por tres de los diez conductores medidos, como se puede evidenciar en el Anexo 5, el cual contiene las mediciones tomadas y sus respectivos análisis de acuerdo al Criterio Frimat.

2. Investigación y análisis

2.1 Declaración de diseño

Diseño y elaboración de un bicitaxi que mitigue la exposición del conductor a riesgos en la salud y riesgos externos presentes en el ambiente.

2.2 Proceso de diseño

En la primera fase de diseño se crearon dos propuestas con formas inspiradas en vehículos con un coeficiente de arrastre bajo. Las medidas de estas propuestas se hicieron teniendo en cuenta la altura interior del vehículo, para lo cual se halló la altura que tendrían los pasajeros sentados teniendo en cuenta la tabla 3. Con la altura poplítea del 50° percentil y la altura sentada del 95° percentil, se obtuvo que el 95% de las personas sentadas ocupan un espacio igual o inferior a 133,6 cm. Sin embargo, se decidió que la altura interior sería de 150 cm, para permitir que el 95% de los pasajeros tengan por lo menos 16,4 cm adicionales de altura para desplazarse en el interior del vehículo y tomar asiento. Para la longitud del vehículo se usó 3 veces la distancia rotula-nalga del 95° percentil. La distancia de lado a lado del vehículo es la distancia bideltaidea del 95° percentil.

Las propuestas preliminares se realizaron en SolidWorks con el fin de explorar alternativas de diseño y determinar el mejor punto de partida para la propuesta final. Teniendo en cuenta que la propuesta debe proporcionar protección al conductor y pasajeros frente a factores exteriores, las dos alternativas de exploración diseñadas tienen una cubierta, que, además, permitirá crear volumetrías que reduzcan la resistencia al viento (Prada, 2008). Ambas propuestas se pueden observar en las ilustraciones 4 y 5.

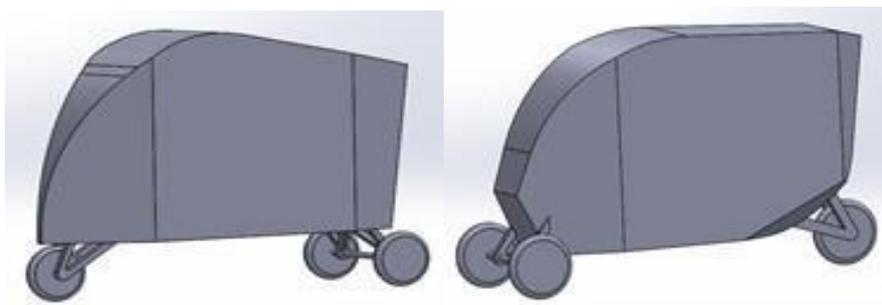


Ilustración 4 y 5. Propuesta 1 y Propuesta 2. (Elaboración propia, 2019)

- Análisis aerodinámico Anexo 6 Aerodinámico.

Con ayuda del complemento Flow Simulation de SolidWorks se realizaron simulaciones a las propuestas para comparar los resultados con el diseño actual, por lo cual, se creó un modelo a partir de un Bicitaxi común. Para las pruebas en los diferentes modelos se estableció la velocidad del aire a 7 m/s (25 km/h) al ser la velocidad máxima permitida (Ministerio de transporte, 2018).

Como resultado en el modelo actual, el aire ejerce una resistencia de 31,5 N. En la propuesta 1 la resistencia es de 18,4 N y en la propuesta 2 la resistencia es de 16,6 N. En las ilustraciones 6, 7 y 8 se presenta la velocidad del aire durante la prueba en los distintos modelos.

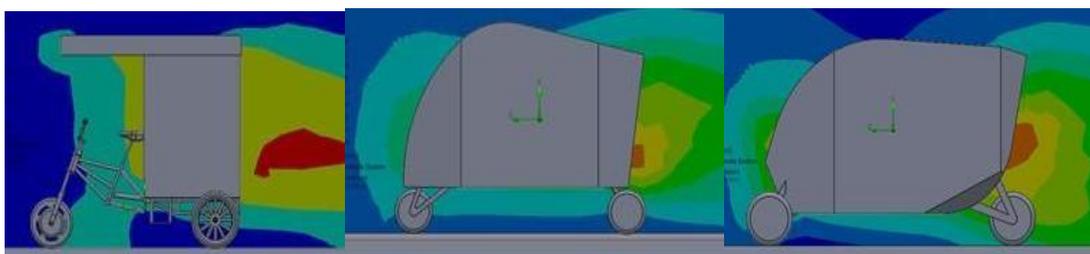


Ilustración 6, 7 y 8. Flujo Modelo Actual, propuesta 1 y propuesta 2. (Elaboración propia, 2019)

En ambas propuestas preliminares, es notoria la reducción de resistencia del aire. En el caso de la propuesta 1 la reducción es del 41,6%, la propuesta 2 tiene una reducción del 47,3%. Posterior a realizar la prueba se concluye que las dos propuestas tienen una mejora aerodinámica respecto al modelo original, por lo cual es necesario analizar otros requerimientos de cada diseño para tomar una decisión.

Las dos llantas delanteras del prototipo 2 hacen que sea necesario incorporar un sistema de dirección similar al de los automóviles, lo cual aumentaría el peso, el costo y la complejidad de fabricación. Por esto se decidió que el diseño de la estructura y la cabina de los pasajeros se harían a partir de la propuesta 1.

- Diseño de interior

Las bicicletas recumbentes difieren de los modelos tradicionales de bicicletas, pues permite que el ciclista esté en una posición en la que el peso de parte del torso y la cabeza no es soportado por los brazos. En vez de tomar como referencia las estructuras tradicionales de bicicletas se decidió partir de los diseños recumbentes por las ventajas ergonómicas que ofrecen. Los principales beneficios se presentan al cambiar el tipo de asiento. En vez del sillín común de las bicicletas, el diseño reclinado permite incorporar un asiento con mayor área para apoyar la tuberosidad isquiática y espaldar. Al tener un área mayor de apoyo se reduce la presión sobre la zona isquiática, reduciendo el riesgo a isquemias y mejorando el riesgo sanguíneo (Martin, 2010). Además, para soporte lumbar y/o cervical ofrece una superficie de apoyo que reduce el esfuerzo del cuerpo por mantener una postura estable, reduciendo la fatiga (Martin, 2010).

En cuanto a la ubicación de los componentes, las bicicletas reclinadas se caracterizan por tener un tubo principal en el que se monta el cartucho pedalier, la caja de dirección y el asiento. Para el diseño del Bicitaxi es necesario definir la orientación y dimensiones del tubo principal, así como la ubicación del cartucho pedalier, la caja de direcciones y la silla. A pesar de que varios diseños incorporan los elementos a un tubo principal con curvas (permitiendo que el conductor esté más recostado) el diseño del Bicitaxi tendrá un tubo principal recto **con inclinación** a la parte delantera (**determinada a partir de la composición de medidas expuesta más adelante**) de tal forma que el conductor no pierda visión por la posición de las piernas.

Para facilitar el diseño del espacio delantero teniendo en cuenta todas las medidas antropométricas tomadas se utilizaron las herramientas de croquis de SolidWorks, que permiten crear geometrías con dimensiones definidas y dimensiones conducidas. De esta forma el diseño comenzó con un croquis que contiene un rectángulo con altura de 150 cm y largo de 140 cm (representando los límites de la cabina del conductor) y un segmento sin medidas definidas que será el tubo principal de la estructura delantera. Ver ilustración 9.

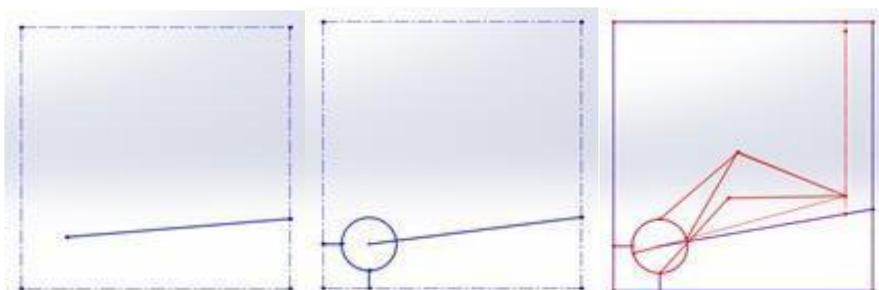


Ilustración 9, 10, 11. Croquis tubo principal, Croquis radio de pedales y Croquis 95° Percentil. (Elaboración propia, 2019).

Primero se determinó la ubicación del cartucho pedalier, cuyo centro se posiciona en la parte delantera del tubo principal, a 25 cm del extremo delantero del Bicitaxi y a 25 cm de altura desde el piso. Con estas medidas y bielas de 150 mm (se creó una circunferencia con este radio para representar el alcance de las bielas en movimiento), se tiene una distancia de 10 cm a cualquier superficie con la que rozan los pies. Ver ilustración 10.

Luego, para determinar la altura del otro extremo del tubo principal, se creó un segmento vertical desde la parte superior del rectángulo y **otras líneas** para representar cinco posiciones distintas en las que pueden estar las piernas (**altura de rodilla y distancia rótula-nalga**) en el pedaleo del 95° percentil. Con el tubo vertical se definió la medida de la altura sentado del 95° percentil, adicionando 5 cm de espacio al techo y 10 cm de espacio para la silla y **el mecanismo para ajustarla a diferentes distancias**. Ver ilustración 11.

A pesar de que una persona no puede tener todas sus medidas en el mismo percentil (Martín, 2010), se crearon dos croquis para representar a personas con todas las medidas corporales en el 95° y en el 5° percentil. Estos dos croquis permiten visualizar cómo se incorporarán personas con dimensiones distintas en el mismo diseño. Utilizando **el alcance**

máximo y mínimo con agarre, la distancia silla-codo y la altura subescapular delimitó el área de alcance para los dos croquis, teniendo en cuenta la inclinación ($9,1^\circ$ y $33,8^\circ$) un espaldar reclinable en ambos croquis, como se puede ver en la ilustración 12.

Con ayuda de las áreas recién marcadas se trazó una línea que representa el tenedor y el manubrio (también ajustable). Además, la caja de dirección (punto de intersección entre el tenedor y el tubo principal) se situó en la mitad entre el punto donde terminan las bielas de los pedales y un punto a 20 cm del comienzo del espaldar para una persona del 5° percentil, de tal forma que el tenedor no interferirá en el pedaleo ni obstruirá el posicionamiento de la silla ajustable. Ver ilustración 12.

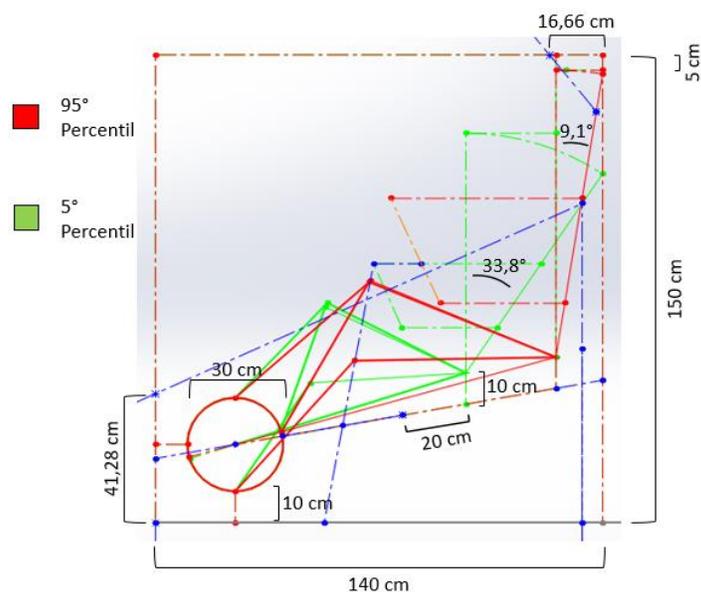


Ilustración 12. Croquis tenedor. (Elaboración propia, 2019)

En cuanto a la cabina de pasajeros se tuvo en cuenta que las personas en discapacidad tengan acceso al servicio, para ello se determinó que habría una entrada trasera de 90 cm de ancho (Fique, 2000) y un espacio interior de 120 cm de largo que podrán albergar los 106,7 cm de una silla de ruedas (Martin, 2010). Para el acceso de pasajeros en silla de ruedas la pared trasera será una rampa de 150 cm de largo que formará un ángulo de no más de 12 grados con el piso (Fique, 2000). En cuanto a los demás accesos, los pasajeros tendrán una puerta corrediza en el costado derecho del vehículo, de tal forma que tengan una opción de acceso más rápida y menos susceptible a obstáculos del entorno que la rampa trasera. El conductor tendrá dos puertas de acceso, una a cada lado, de forma tal que, en caso de volcamiento del vehículo, siempre tendrá una salida despejada (Cabrera, 2014).

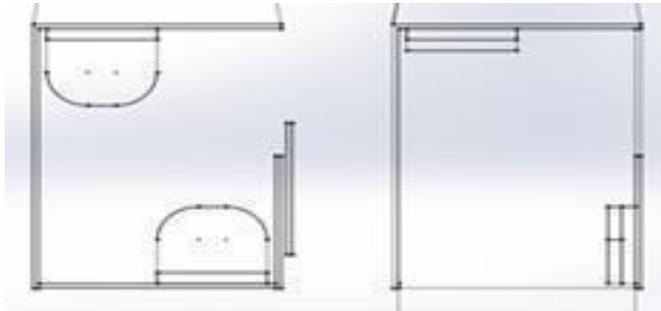


Ilustración 13. Croquis distribución sillas. (Elaboración propia, 2019).

Según los datos antropométricos se pueden disponer dos sillas para que se sienten dos personas cómodamente en el espacio de 90 x 120 cm. Para permitir que una persona acceda y se siente o se levante y salga sin necesidad de que la otra se mueva de su asiento, unas sillas y la puerta se dispusieron como se muestra en la ilustración 13.

Parte de la cubierta delantera debe ser transparente, de forma tal que el conductor pueda ver el exterior sin estar expuesto a las condiciones ambientales. Para determinar los límites de la cubierta transparente (41,3 cm desde la base y 16,7 cm desde el respaldo de la cabina) se marcaron segmentos que representan los límites de visión frontal inferior a 2 m (ilustración 14), lateral a 1 m (ilustración 15) y superior a 6 m (ilustración 16) para poder ver los semáforos (Valencia, 2000).

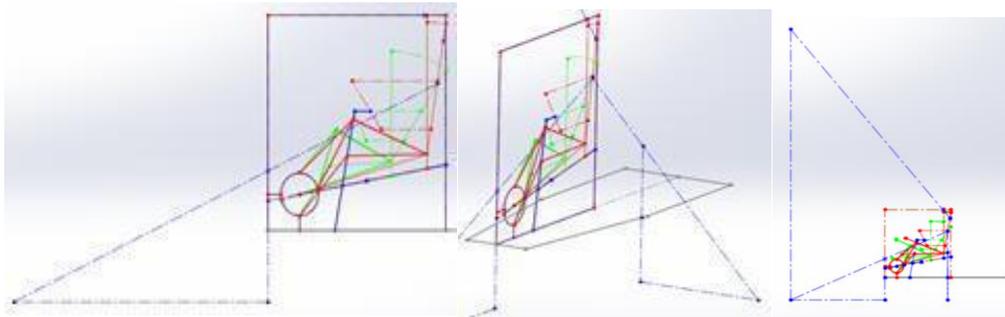


Ilustración 14, 15 y 16. Límite inferior frontal, Límite lateral y Límite superior frontal. (Elaboración propia)

- Prueba de Diferencial Semántico. [Anexo 7. Diferencial Semántico](#)

La prueba de diferencial semántico consiste en una valoración de adjetivos bipolares de un producto o servicio en una escala, por ejemplo, frío - caliente, los cuales están unidos por una serie de números impares, en la que el consumidor deberá seleccionar la afinidad del atributo de acuerdo a sus sentimientos o creencias. Cabe aclarar que la posición de los adjetivos debe ser aleatoria, ya que podría sesgar las respuestas de la persona (Schiffman, 2005).

Esta prueba hace parte de la ingeniería afectiva, ya que logra recopilar datos emocionales frente a un catálogo de diseños o prototipos con el fin de realizar las modificaciones pertinentes que satisfagan las necesidades del usuario (Alarcón, 2015). Por lo cual, se realizó la prueba de diferencial semántico a 30 conductores y pasajeros para

conocer la percepción que tienen frente al diseño del bicitaxi utilizado actualmente y frente a los dos diseños propuesto, teniendo un total de 90 valoraciones.

Para esta prueba se mostraron imágenes del bicitaxi convencional y de los renders de los diseños planteados en *Bforartists*, cómo se puede ver en las ilustraciones 17 y 18. Dado esto, se escogieron 22 adjetivos bipolares que captarán aspectos referentes al diseño, a la seguridad y a la eficiencia, clasificados en tres categorías: funcionalidad, usabilidad y estética, como se puede observar en la Tabla 5:



Funcionalidad	RIESGOSO / INOCUO
	RÁPIDO / DESPACIO
	INEFICIENTE / EFICIENTE
	COMPENSADO / DESCOMPENSADO
	DESMEJORADO / MEJORADO
	DÉBIL / RESISTENTE
	CONTAMINANTE / PURO
	ESTABLE / INESTABLE
	RÍGIDO / MALEABLE
	PESADO / LIVIANO
Utilidad	ADECUADO / INADECUADO
	SEGURO / INSEGURO
	EXCLUYENTE / INCLUYENTE
	FRÍO / CÁLIDO
	AMPLIO / ESTRECHO
	CÓMODO / INCOMODO
	ABORDABLE / DIFICIL ACCESO
Estético	PARTICULAR / PÚBLICO
	AGRADABLE / DESAGRADABLE
	TRADICIONAL / INNOVADOR
	ABIERTO / CERRADO
	DESORDENADO / ORDENADO

Tabla 5. Criterios de evaluación. (Elaboración propia, 2019).

De acuerdo con los resultados de percepción brindados por la prueba de diferencial semántico, se evidenció que la mayoría de las personas consideran que el bicitaxi utilizado actualmente es medianamente eficiente, pero puede llegar a ser riesgoso, desagradable, inseguro, desmejorado, estrecho, incómodo, inestable, pesado y desordenado. A diferencia de la percepción frente a los dos diseños propuestos, dado que se ve una notable mejoría en estos factores. Para decidir entre estos, se tuvo en cuenta que el primer diseño tuvo mejor percepción en agrado, inclusión, compensación, comodidad y orden que el segundo. La encuesta y los resultados se pueden identificar en la carpeta Anexo 7.

2.3 Pruebas de Rendimiento.

- Elementos finitos [Anexo 8.](#)

Se hizo análisis de elementos finitos para garantizar que el diseño soporte las cargas a las que será sometido. Se eligió acero estirado en frío como material de simulación por su disponibilidad en la zona donde se fabricaría el modelo. La estructura se sometería a una fuerza lateral equivalente a dos veces su propio peso, una fuerza longitudinal de seis veces su peso y una fuerza vertical de ocho veces su peso (Cabrera, 2014). El peso de la estructura es de 23,79 Kg con el material mencionado. El límite elástico del material es de $5,3e+08$ Pa, si durante la prueba se excede esta tensión el material sufrirá deformaciones permanentes.

Con una fuerza lateral de 464,9 N, la tensión máxima es de $1,9e+06$ Pa, con una fuerza longitudinal de 1394,6 N la tensión máxima es de $1,4e+07$ Pa y con una fuerza vertical de 1859,4 N la tensión máxima es de $1,7e+07$ Pa. Las ilustraciones 19, 20 y 21 muestran el resultado del análisis estático con las distintas fuerzas. Esto se puede encontrar en el anexo 8.

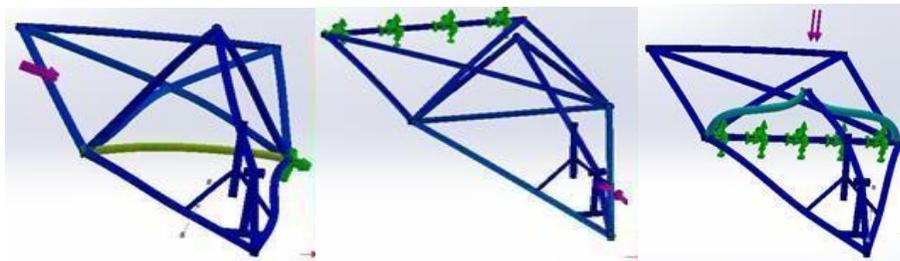


Ilustración 19, 20 y 21. Fuerza lateral, Fuerza longitudinal y Fuerza vertical. (Elaboración propia, 2019).

2.4 Restricciones y limitaciones.

- Las mediciones antropométricas pueden presentar variaciones notables entre los cuerpos de los conductores de bicitaxi, por lo cual se garantizaron los percentiles o intervalos de confianza adecuados.
- Existen diferentes modelos de bicitaxi en la ciudad, por lo cual, al momento de seleccionar el bicitaxi se brindó aleatoriedad frente al punto donde se realizó la prueba y allí se escogió sin ninguna especificación un vehículo.
- Dada la variedad de modelos de bicitaxi, así mismo será la variación de los costos de fabricación, por lo cual se realizó un promedio de la información recolectada en diferentes puntos de la ciudad.
- La fabricación total de un único modelo como prototipo 100% funcional supera el tiempo del proyecto. Por lo cual, para realizar las pruebas se simuló el peso restante, pues únicamente se fabricó la estructura y el puesto del conductor.

2.5 Cumplimiento de la norma

De acuerdo con la NTC 5655, los trabajadores (conductores de Bicitaxi) fueron partícipes de todo el proceso de diseño. El cual contó con elementos ajustables que permitieron la adaptación postural y el uso de los percentiles 5 y 95, garantizando que el diseño se acomode al 90% de la población caracterizada.

En cuanto a las personas con necesidades especiales, el diseño se hizo teniendo en cuenta sus requerimientos y garantizando su acceso al sistema. Teniendo en cuenta que cada fase es susceptible a afectar las fases anteriores se plantearon distintas alternativas entre las cuales elegir en cada una.

3. Mejorar y controlar

3.1. Ficha técnica Anexo 9.

Se realizó la ficha técnica basándose en la siguiente normativa:

Normas, Resoluciones y Leyes	
Resolucion 5543	Norma NTC 5286
Norma ISO 7636	Articulo 94
Resolucion 1949 de 2009	Norma AV009
Norma ISO 5775-1 y 5775-2	Ley 769
Reglamentos CEPE/ONU Regl.8	

Tabla 6. Ficha técnica. (Elaboración propia,2019).

Para la realización de la ficha se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos: Datos informativos, Requerimientos técnicos, Equipo de seguridad.

Como primera medida se evaluó la literatura para determinar cuáles serán los elementos mínimos requeridos para asegurar el correcto y seguro funcionamiento del Bicitaxi.

Datos informativos: Para la realización se tuvo en cuenta datos personales tanto de la empresa como del conductor, con el fin de ejercer un control y caracterización en el uso del Bicitaxi.

Requerimientos técnicos: Dentro de los requerimientos se pretende realizar un proceso de revisión preventiva cada 6 meses.

- **Capacitación:** Se deberá realizar una capacitación a los conductores en seguridad vial, formación en el uso de vehículos, normas de seguridad de transporte, fundamentos y características de la calidad en la prestación del servicio, convivencia, adicional a esto principios sobre señalización, relaciones interpersonales, normatividad para el servicio público de transporte. (NTC 5286, 2014) (Resolución 3256, 2018).

- **Revisión técnico-mecánica:** Además, se deberá realizar la revisión técnico-mecánica en la cual se realizarán todos los procedimientos que se realizará a las motocicletas y se tendrán en cuenta las revisiones según la resolución 3256 de 2018. (*Resolución 3256, 2018*).

Equipo de seguridad: Para los equipos de seguridad se deberán basar en el artículo 94 del código nacional de transporte con la norma AV009 del 2007.

- **Equipo usado por el conductor:** Los chalecos o chaquetas reflectivas deberán tener el número de placa. El casco debe tener la certificación requerida por el ministerio de transporte y contener marquilla. (*Resolución 1080, 2019*), (*Norma Icontec 4533, 2017*). (*Departamento de seguridad vial, 2017*)
- **Elementos de seguridad:** Teniendo en cuenta los diseños planteados de Bicitaxi y los resultados de las encuestas realizadas a pasajeros y conductores, se seleccionaron elementos de seguridad para garantizar el cumplimiento de la ley (Ficha técnica), la satisfacción de los diferentes usuarios de este servicio de transporte y la prevención de posibles accidentes (*Manual vial para decisores y profesionales, 2017*).
- **Elementos tecnológicos:** Se tendrán en cuenta sistemas de frenado antibloqueo (ABS) (Teoh, 2011), limitadores de velocidad y estructuras de moderación del tráfico. (*Manual vial para decisores y profesionales, 2017*).

En la realización de la ficha técnica se tuvo en cuenta los artículos requeridos tanto para cumplir requerimientos legales como para cumplir con todas las normas técnicas, seguridad y otras reglamentaciones.

Después de realizar la respectiva investigación y **contrastándola** con la información con la encontrada en las encuestas y demás formatos de recolección de información, se realizó el método de la casa de la calidad para determinar cuáles son los elementos, requerimientos, necesidades y alternativas que mitiguen los riesgos.

Casa de la calidad: Se utilizó una matriz de planificación para relacionar lo que los pasajeros quieren junto con lo que los bicitaxis pueden y deben brindar, para eso se utilizó una matriz de correlación junto con una ponderación de factores para determinar qué elementos son los más adecuados.

Dentro de los resultados más importantes fueron:

- **Diseño:** Con un puntaje de **194** puntos, es el requerimiento más importante por parte de los conductores y pasajeros en cada una de las encuestas.
- **Equipo de seguridad pasajeros:** Con un puntaje de **126** puntos, se puede concluir que generar estrategias que aumenten la seguridad y comodidad para los pasajeros es un factor clave para lograr la aceptación del servicio y aumentar su uso.

- **Equipo de prevención conductores:** Con un puntaje de **123**, es importante resaltar que según la encuesta realizada la seguridad es un elemento clave para los conductores.
- **Investigaciones sobre el ambiente:** De acuerdo con las investigaciones que se realizaron sobre las mediciones de ruido, iluminación y estrés térmico, se realizó un proceso conjunto para determinar los mejores requerimientos que debe tener el diseño.

Para esto, se tuvieron en cuenta las exposiciones máximas y mínimas a las que puede estar una persona en esas condiciones de trabajo, aunque no sólo se evaluó este aspecto si no también se juntaron con los requerimientos por parte de los conductores.

La ficha técnica donde se encuentran todos los elementos anteriormente mencionados se encuentra en el **Resultados: Ficha Técnica**.

3.2 Análisis económico. Anexo 10.

Los costos asociados a la producción del bicitaxi, tanto para el modelo antiguo, como para el modelo propuesto, son determinados por parámetros como el costo de material, el costo de los insumos, costos de mano de obra directa y costos de mano de obra indirecta.

	Modelo	Modelo
COSTOS	Antiguo	Propuesto
Costos Materia Prima	\$2.853.333	\$ 4.282.895
Costos Insumos	\$181.000	\$ 181.000
Costo de Mano de Obra Directa	\$282.436	\$ 282.436
Costo Indirecto	\$87.000	\$ 87.000
COSTO TOTAL	\$ 3.403.770	\$ 4.833.331

Tabla 7. Costo total diseño antiguo y propuesto. (Elaboración propia, 2019).

Para cada modelo se tuvieron en cuenta elementos que son necesarios para el funcionamiento del bicitaxi tales como: llantas, espejos, asientos, cadena, tubos etc. Estos elementos son discriminados para obtener el costo de fabricación y por lo tanto la inversión necesaria para obtener el bicitaxi.

En la tabla 7, se puede apreciar una comparativa de los costos de cada modelo, siendo mayor el costo del prototipo fabricado en proyecto. Lo que se puede reflejar, debido a que se adicionaron elementos mencionados en la ficha técnica que no son considerados en el prototipo actual del mercado., tales como los elementos de seguridad o iluminación. [En el anexo 10, se encuentra este análisis de manera detallada.](#)

5. Resultados.

5.1 Render Anexo 11.

Se realizó un modelo RENDER, el cual es una imagen digital que se creó para realizar la prueba de “Diferencial Semántico” a continuación, se presentan algunos diseños, se tuvo en cuenta una variación en la distribución interna del bicitaxi.

En el anexo 11, se encuentran los diseños desde distintos ángulos.



Ilustración 22 y 23. Render Modelos de Bicitaxis. (Elaboración propia, 2019).

5.2 Análisis Aerodinámico. Anexo 6.

Se realizó la prueba Flow Simulation con el modelo final de Bicitaxi para determinar si existía mejoría en la resistencia del aire frente al diseño actual. Como resultado, el diseño propuesto tiene una resistencia de 20,0 N, lo que significa que el aire presenta **36,5% menos** de resistencia en el nuevo modelo que en el actual. La razón por la que el modelo final presenta una mayor resistencia por el viento que los diseños preliminares es debido a que se aumentó el ancho del vehículo para permitir la entrada de personas en silla de ruedas, aumentando al mismo tiempo el área proyectada, la cual es proporcional a la fuerza de resistencia (Drela, 2014). En la ilustración 23 se puede ver la velocidad del aire durante la prueba.



Ilustración 23. Flujo Diseño Final.

5.3 Planos. Anexo 12.

El diseño del chasis del Bicitaxi se hizo teniendo en cuenta las medidas antropométricas como se explicará a profundidad en el componente de diseño, permitiendo que el diseño se acomode a las dimensiones corporales de los pasajeros y especialmente del conductor. Teniendo en cuenta que la composición de la estructura debe soportar el peso de sí misma, los elementos que se montan sobre ella y a sus tripulantes, la triangularización de la base del Bicitaxi fue necesaria, pues de esta forma se obtiene una estructura rígida y estable (Cabrera, 2014).

En cuanto al perfil de los segmentos que componen la estructura, se utilizaron tubos cilíndricos por sus excelentes propiedades respecto a los esfuerzos de compresión, torsión y flexión (ITEA, s.f.). Se utilizaron tubos de acero de 1 pulgada de diámetro y calibre de 1,9 milímetros por su disponibilidad en el mercado. Los planos de la base del Bicitaxi pueden apreciarse en el Anexo 12

Para la cubierta del vehículo se decidió utilizar una lona sostenida por una estructura tubular ligera por el poco peso que tiene que soportar y para reducir el peso de la propia estructura. De la misma forma que en la base, se hizo la triangularización de la composición de tubos para garantizar su rigidez y estabilidad. Los planos del chasis completo (Estructuras de base y cubierta) del Bicitaxi se encuentran en el anexo 12.

5.4 Prototipo a escala Anexo 13

Se realizó el prototipo volumétrico teniendo la cuenta las dimensiones establecidas anteriormente en planos y se incorporaron elementos necesarios para el adecuado funcionamiento, como lo son, silla ajustable, manubrio, ruedas, sistema de transmisión de potencia, entre otros.

Con ayuda de la tecnología emergente de las impresoras 3D y del modelado en SolidWorks, se obtuvo un modelo a escala 1:33 del bicitaxi. El cual, permite visualizar e identificar de forma tangible los resultados del proceso de diseño. [El techo fue retirado para lograr apreciar el diseño interior, como se puede apreciar en las ilustraciones 24,25 y 26.](#) En el anexo 12, se encuentra algunas fotos del prototipo 3D.



Ilustraciones 24, 25 y 26. Modelo a escala. (Elaboración propia, 2019)

5.5 Prototipo funcional [Anexo 13](#)

Se debe tener en cuenta que por restricciones de presupuesto y tiempo no se fabricó la totalidad de la estructura del bicitaxi, solo la base con sus elementos primordiales. Sin embargo, se fabricó con las características de ajuste de la silla y del manubrio mencionadas en el diseño del interior.

En la ilustración 27 se muestra el prototipo en su proceso de construcción, en la ilustración 28 se aprecia el prototipo terminado y en el anexo 13, como complemento, se encuentra un video y fotos de este.



Ilustración 27 y 28. Proceso de construcción y Prototipo final. (Elaboración propia, 2019).

5.6 Ficha técnica [Anexo 9.](#)

A continuación, se presentan algunos de los requerimientos necesarios para la realización de la ficha técnica que fueron explicados en el apartado **3.1 Ficha técnica.**

Empresa/Propietario		Conductor autorizado		Bicitaxi pedal y eléctrico		
Nombre	Nombre	Tipo de motor	Potencia	Número de motor		
Número de teléfono	Número de identificación	Ficha técnico-mecánica		Pago de impuestos.		
Dirección del lugar de trabajo	Licencia de tránsito C1					
Inscripción en el Runt						

Tabla 8. Equipo de prevención. (Elaboración propia, 2019). Fuente: (Artículo 94, 2002), (Norma AV009, 2007) (Resolución 3256, 2018)

Equipo de prevención			Caja de herramientas básicas		
(2) Señales reflectivas en forma de triángulos.			Alicate	Llave de expansión	Destornillador
(2) Tacos para bloquear el vehículo			Llaves fijas	Llanta de respuesto.	Piezas de recambio
Linterna, Gato Hidráulico	Extintor ABC	Botiquín			

Tabla 9. Equipo usado por el conductor (Elaboración propia, 2019). Fuente: (Artículo 94, 2002), (Norma AV009, 2007).

Equipo de seguridad básico		Bicitaxi pedal y eléctrico	
Chaleco o chaqueta reflectiva	Casco certificado	Tarjeta de operación	Número de identificación vehicular
Rodilleras y coderas	Guantes	Número de serie	SOAT
Protección Ambiente: Cuellera, Gorra, mangas, Impermeable completo y coderas.		Número de puertas	Marca
(2) Luces traseras y delanteras.	Reflectores	Línea	Tipo carrocería
		Número de placa	Color

Tabla 10. Partes del Bicitaxi. (Elaboración propia, 2019)

Fuente: (Norma NTC 5286) (Norma ISO 7636) (Reglamentos de la CEPE/ONU Reglamento 81), (Neumáticos requisitos norma ISO 5775-1 y Llantas norma ISO 5775-2) (Resolución 1949 de 2009 y resolución 5543 de 2013) (Gould M, Poulter DR, 2012)

▪ Otras implicaciones:

No se tuvieron en cuenta requerimientos como pruebas de ensayo, test de frenado en diferentes momentos, control de frenos, preparaciones para la utilización de los equipos, calibración de materiales, verificaciones en el funcionamiento de los elementos, entre otros, debido a que se sale de los límites y el alcance del proyecto, pero se mencionan para que sean realizados en otros proyectos con enfoques más específicos con los bicitaxis.

Cabe resaltar, que en este proyecto de grado no se tratará posibles horarios de operación, frecuencias de rutas, libertad de circulación dentro del respectivo radio de acción, condiciones tarifarias, tipo y niveles de servicio, pero se deja abierto para la posible realización de otro proyecto con este enfoque. (NTC 5286, 2014) (Resolución 3256, 2018).

5.7 Requerimientos de desempeño Anexo 14

5.7.1 Nivel de penosidad:

El valor total del nivel de penosidad según el modelo actual del bicitaxi menos valor total del nivel de penosidad según el modelo propuesto para el bicitaxi de acuerdo con el criterio FRIMAT, dividido en la cantidad de población medida. El indicador debe ser mayor a cero, lo que representaría una mejora en el método.

Valor total del nivel de penosidad actual - Valor total del nivel de penosidad propuesto = *Indicador para el método FRIMAT.*

A continuación, el análisis del indicador de acuerdo al criterio Frimat:

Adicionalmente aparte de valorar el esfuerzo con el bicitaxi actual, se quiso realizar una comparación con el prototipo fabricado, por lo cual, en un día diferente se evaluó el criterio Frimat con las mismas personas bajo el compromiso de no alterar los factores de su rutina diaria como, por ejemplo, la alimentación o las horas de sueño. De igual manera, se intentó garantizar las mismas condiciones ambientales, de acuerdo a los pronósticos de tiempo y clima del IDEAM. Esta prueba dio lo siguiente como resultado:

- La frecuencia cardiaca basal o en reposo entre los dos días de medición en las personas tuvo una variación entre un 0% y un 18%. Este valor puede variar por factores como: la posición espacial, la temperatura, la digestión, sexo, talla, edad o diferentes estímulos. (Barbany, 2002).
- La posición espacial: Es mayor la frecuencia si la persona está sentada o en postura bípeda.
- La temperatura: La temperatura del ambiente es directamente proporcional a la frecuencia.
- La digestión: La frecuencia aumenta en las tres horas posteriores a una comida abundante.
- La edad: La frecuencia disminuye progresivamente con esta.
- El sexo: Las mujeres tiene alrededor de 5 a 10 pulsaciones /min más que el hombre.

- La talla: Por la dinámica de la sangre por las arterias y venas.
- Los estímulos: Estímulos visuales o acústicos
- Otros factores: momento del día, el sueño y las emociones (Barbany, 2002).

La frecuencia máxima teórica define el valor máximo a lo que debería llegar la frecuencia cardiaca de acuerdo a la edad de la persona. Dado esto, se pudo identificar que en el modelo de Bicitaxi anterior, tres personas superan su límite y en el modelo nuevo solo una lo superó.

De acuerdo a la clasificación de penosidad se reflejó una mejoría en siete de los diez trabajadores, de los cuales cuatro cambiaron directamente de clasificación de la labor como se muestra en la tabla 11.

CLASIFICACIÓN DE PENOSIDAD				
BICITAXI ANTERIOR		BICITAXI NUEVO		¿Cambió de clasificación?
Extremadamente dura	28	Extremadamente dura	25	Sí
Extremadamente dura	26	Carga física mínima	7	Sí
Extremadamente dura	30	Extremadamente dura	27	Sí
Extremadamente dura	28	Muy ligera	13	Sí
Extremadamente dura	25	Dura	23	Sí
Extremadamente dura	25	Muy dura	24	Sí
Extremadamente dura	28	Extremadamente dura	26	Sí
Extremadamente dura	25	Extremadamente dura	29	No
Extremadamente dura	26	Extremadamente dura	29	No
Extremadamente dura	25	Extremadamente dura	29	No

Tabla 11. Clasificación de penosidad. (Elaboración propia, 2019)

$$\begin{array}{r}
 \text{Bicitaxi anterior} \qquad \qquad \text{Bicitaxi actual} \\
 \hline
 241 \qquad \qquad - \qquad \qquad 209 \qquad \qquad = \qquad 3,2 \\
 \hline
 10 \text{ conductores}
 \end{array}$$

5.7.2 Medición del porcentaje de aceptación:

El indicador de aceptación se diseñó con la finalidad de determinar si hay mejoría en el diseño propuesto frente al actual respecto a la percepción de los conductores.

$$\frac{\text{Aceptación propuesto} - \text{Aceptación actual}}{\text{Aceptación Actual}} = \text{Indicador de aceptación}$$

Para el indicador de aceptación de la propuesta se dividió en 3 sub-indicadores de diseño, accesibilidad y eficiencia. El indicador de aceptación se pudo evidenciar un mejoramiento del 29%, el de accesibilidad 40% y el de eficiencia empeoro con -2%.

Mejoramiento: Se evidenció una notable mejor en el factor, esto es debido a las mejoras realizadas en el diseño final.

Accesibilidad: Dentro de los factores principales que generaron el aumento en la accesibilidad fue la inclusión de personas discapacitadas junto con la privacidad al momento de acceder al vehículo con el fin de evitar inconvenientes.

Eficiencia: La disminución en el factor de la eficiencia fue debido a algunas opiniones que pueden tener los conductores de bicitaxis.

5.9 Indicadores financieros diseño propuesto vs bicitaxi actual [Anexo 14](#)

Para comparar económicamente los dos modelos de bicitaxis, se estimaron los ingresos diarios y mensuales de un bicitaxista en la localidad de Kennedy tomando los datos de la caracterización de la secretaría distrital de movilidad, con una tasa de interés del 2,1% efectiva mensual se calcularon los indicadores financieros encontrados en la Tabla 12.

Indicador	Actual	Propuesto
VPN	\$2.186	\$54.860
PACYBACK	22	36
TIR	2,11%	2,17%
C/B	1,00	1,00

Tabla 12. Indicadores económicos. (Elaboración propia, 2019).

Los indicadores presentados en la tabla 12, muestran las relaciones que existen entre los diferentes modelos de bicitaxis, para el caso de la relación Costo beneficio, con un horizonte de recuperación de la inversión de 22 meses para el modelo actual y de 36 meses para el modelo propuesto, por cada peso invertido el propietario de cada modelo retribuirá 1 peso, siendo esto escenarios positivos para ambos casos.

Con relación al Valor Presente Neto el modelo actual durante el horizonte de planeación de 22 meses para el modelo propuesto representará una ganancia de \$2.186 pesos, es decir que, si se adquiere el modelo actual, en el mes 22 se tendrá una ganancia de la inversión correspondiente a ese valor, mientras que, para el modelo propuesto en un horizonte de 36, el Valor Presente Neto es de \$54.860.

Por otra parte, la Tasa Interna de Retorno del modelo actual es de 2.11% mientras que para el modelo propuesto es de 2.17%, esto quiere decir que se tiene un porcentaje de beneficio para cada modelo sobre la inversión que se realice en 22 o 36 meses respectivamente.

La variación de los precios del modelo antiguo frente al modelo propuesto es de \$1.429.562 pesos, es decir que se debe invertir un 42% más para tener el modelo propuesto en este proyecto, sin embargo, en el costo total de producción se tienen en cuenta todos los elementos necesarios para que se pueda laborar de manera segura, lo cual ofrece garantía al conductor al momento de ejercer su labor durante todo el día.

6. Conclusiones y recomendaciones.

6.1. Impacto:

Los 4.169 bicitaxis en la ciudad demuestran que el servicio suple una necesidad creciente (Secretaría Distrital de Movilidad, 2019), para la cual es necesario asegurar que tanto conductores como pasajeros participen de forma segura, digna y eficiente. De este modo, la creación de un modelo de Bicitaxi que ofrece mejores condiciones de trabajo cumple estándares de seguridad y es incluyente con los usuarios puede ser el punto de partida para la estandarización del servicio.

La estandarización de los bicitaxis y sus componentes debe estar acompañado de estandarizaciones en los procesos asociados al servicio. Algunos ejemplos de estos procesos son la capacitación de los conductores en seguridad vial y atención al cliente. Una vez estandarizado y regularizado, el servicio tendría el potencial para integrarse al sistema de transporte masivo de la ciudad y convertirse en un empleo formal, ya que hay Bicitaxis operando desde las estaciones de Transmilenio (Aranzales, 2017).

6.2 Ficha técnica:

En futuros proyectos se pueden evaluar requerimientos como pruebas de ensayo, test de frenado en diferentes momentos, control de frenos, preparaciones para la utilización de los equipos, calibración de materiales, verificaciones en el funcionamiento de los elementos, entre otros. Estas pruebas permiten evaluar a profundidad el comportamiento del diseño y los elementos montados, además de aportar parámetros más completos para asegurar el vehículo y de esta manera lograr una estandarización del bicitaxismo.

Cabe resaltar, que en este trabajo de grado no se tratará posibles horarios de operación, frecuencias de rutas, libertad de circulación dentro del respectivo radio de acción, condiciones tarifarias, tipo y niveles de servicio, pero se deja abierto para la posible realización de otro proyecto con este enfoque. (NTC 5286, 2014) (Resolución 3256, 2018).

6.3 Captura de movimiento:

Otra forma para determinar el impacto físico para el trabajador en el diseño creado es evaluar la postura del conductor en el diseño final y en uno de los modelos actuales. Para esto una herramienta muy útil es el estudio de captura de movimiento, el cual permite conocer con precisión el ángulo de flexión o extensión y su permanencia en cada una de estas posturas durante un periodo de tiempo determinado para las diferentes articulaciones del cuerpo. Teniendo en cuenta que las posturas de los conductores son mayormente dinámicas (sostenidas por menos de 60 s), esta herramienta permite obtener series de tiempo con información fiable de estos ángulos durante el proceso de pedaleo del conductor. Una vez obtenidos los datos, estos podrían evaluarse utilizando las regresiones lineales y cuadráticas de Dohyung Kee y Waldemar Karwowski (Kee, 2001) para dar una puntuación de confort a cada ángulo en cada momento de tiempo. La información es entregada en formato CSV, lo cual facilita su procesamiento con algoritmos de programación.

6.4 Diseño:

El diseño final del bicitaxi sacrifica parte del rendimiento aerodinámico que podría tener para asegurar la accesibilidad de personas con movilidad reducida. El ancho de 90 cm del vehículo podría reducirse a 60 cm, de tal forma que el área proyectada y la fuerza de resistencia del aire se reduzcan de forma proporcional. Fuera necesaria una rampa trasera, la forma de la cola del vehículo se podría modificar por otra que redujera el coeficiente de arrastre. Además, estos ajustes reducirían el peso estructural del bicitaxi.

Dado que no hay necesidad de que todos los bicitaxis en una ruta cuenten con accesos y espacio para personas con movilidad reducida, la coexistencia de un modelo accesible para personas con movilidad reducida y otro más ligero y aerodinámico, mejoraría la eficiencia del servicio, pues se reduciría el consumo promedio de energía humana (y eléctrica en el caso de los Bicitaxis asistidos). La cantidad de Bicitaxis con accesibilidad para personas con movilidad reducida para cada ruta tendrá que ser determinada por un estudio a fondo.

6.5 Análisis económico:

Aunque el modelo del prototipo representa una mayor inversión para su fabricación que el modelo actual de bicitaxis, en este modelo se tienen en cuenta todos aquellos elementos mínimos necesarios para hacer más segura la labor del bicitaxismo, contando con elemento de seguridad y de prevención que son mencionados en la ficha técnica para garantizar un modelo estándar.

En cuanto al bienestar de los conductores, a largo plazo el bicitaxi propuesto reduce problemas en la salud de los conductores por la penosidad de la tarea, de forma tal que al realizar la inversión en una solución fiable, los conductores ahorrarían en gastos de salud.

7. Glosario.

1. **Análisis de elementos finitos:** Método de análisis que se integra con el software de diseño asistido por computadora (CAD). Al dividir una pieza en subestructuras de tipo elástico permite la aplicación de cargas como la gravedad, dinámicas o térmicas (Shigley, 2019).
2. **Antropometría:** Es la disciplina que describe las diferencias cuantitativas de las medidas del cuerpo humano y estudia las dimensiones considerando como referencia las estructuras anatómicas, esto es, que nos ayuda a describir las características físicas de una persona o grupo de persona, y sirve de herramienta a la ergonomía con la finalidad de adaptar el entorno a las personas (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2016).
3. **Bastidor:** Conjunto de perfiles unidos muy rígidamente en forma de cuadro, de manera que el conjunto es indeformable (CEDE, 2002).
4. **Bicitaxi:** Vehículo no motorizado de tres ruedas, accionado con el esfuerzo del conductor por medio de pedales en cuya parte trasera se aloja una silla para el transporte de personas (Mercado, 2012).
5. **Cadena motriz:** Se constituye por eslabones articulados que se adaptan a ruedas dentadas, que hacen el efecto de poleas, formando un engranaje (Odetto, 2001).

6. **Catarina:** Una rueda con dientes en el extremo exterior que se ajustan a las cavidades en una cadena para moverla a su alrededor (Sprocket, 2018).
7. **Desórdenes musculoesqueléticos:** Problemas de salud del aparato locomotor (músculos, tendones, esqueleto óseo, cartílagos, ligamentos y nervios) desde dolencias leves hasta lesiones irresistibles y discapacitantes (Luttmann, 2004).
8. **Diseño:** Como tarea consiste en pensar y describir una estructura que aparece como una portadora de características deseadas; el diseño como proceso consiste en transformar información de las condiciones, necesidades y requisitos a la descripción de una estructura que las satisfaga (Wilhide, 2017).
9. **Ergonomía:** Es una actividad multidisciplinaria que trata de las interacciones entre los seres humanos y otros elementos de un sistema (Kodak, 2004).
10. **Factores ambientales:** El ruido, las vibraciones, exposición a sustancias nocivas en el aire y otros factores que afectan el lugar de trabajo (Organización Internacional del Trabajo, 2001).
11. **Método Frimat:** Método que permite valorar una tarea mediante la energía requerida según el pulso cardíaco (Frimat, 2003).
12. **Morfología:** Es la ciencia que estudia el cuerpo humano en los niveles: subcelular, celular, tisular y sistémico desde la fecundación hasta la senectud, en la relación que tiene con el medio ambiente y la forma como este le afecta (Rosas, 2009).
13. **Movilidad:** Desplazamiento territorial de las personas y sus bienes en un contexto social, espacio- temporalmente determinados (Gutiérrez, 2012).
14. **Sistema de retención:** Dispositivo de seguridad secundario diseñado para prevenir o minimizar las lesiones en caso de accidente, un ejemplo es el cinturón de seguridad (OMS, 2009).
15. **Sistema de transmisión:** Mecanismo de transmisión de movimiento que replica el tipo de movimiento del elemento motriz en el elemento conducto (Villalba, 2008).
16. **Suspensión:** Sistema de control de movimientos vibratorios conectado a las ruedas y a el cuerpo del vehículo, permitiendo el desplazamiento entre ambos por medio de elementos elásticos (MAD, 2006).
17. **Tensor:** Elemento regulador de la tensión mecánica, instalado en la formación de las cadenas de aislamiento horizontales (EDP, 2005).
18. **Transmilenio:** Sistema de transporte masivo de pasajeros basado en buses articulados de alta capacidad (Dane, 2007).
19. **Transporte Público:** Una industria encaminada a garantizar la movilización de personas o cosas por medio de vehículos apropiados (Dane, 2007)

8. Referencias

- Alarcón, J. (2015). Ingeniería afectiva aplicada al diseño emocional de texturas para la diferenciación asertiva en la decisión de compra. 40(12). 859-865. Available at: [Link](#)
- Alcalde, P. (2009). Calidad. Paraninfo. 3(1). 198 – 213. Available at: [Link](#)
- Alias, A. N, Karuppiah, K., Tamrin, S. B. M., Abidin, E. Z., Shafie, U. K. M., & Sambasivam, S. (2016). Risk Factors of Muscular Discomfort among Motorcyclist. Iranian Journal of Public Health, 45(Supple 1), 35-43. Available at: [Link](#).
- Alvarado, J., & Obagui, J. (2008). Fundamentos de inferencia estadística. Pontificia Universidad Javeriana. Available at: [Link](#)
- Aranzales, W. G. M., Morales, R., Garavito, S., Mancipe, J., Mariño, M., Martínez, M., & Orozco, A. (2017). Análisis Socio Técnico del Bicitaxismo en la Localidad de Kennedy, Bogotá. Caso Estudio: UPZ 82 (Patio Bonito) y UPZ 83 (Las Margaritas), 1-11. Available at: [Link](#).
- Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo, (2007): AGENCIA EUROPEA PARA LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL TRABAJO, "Introducción a los trastornos musculoesqueléticos de origen laboral."
- Artículo 94. (2002). Normas generales para bicicletas, triciclos, motocicletas, motociclos y moto triciclos, Código Nacional de Tránsito. [Link](#)
- Baker, A. (2002). Medicina del ciclismo. Paidotribo. 44. 31 – 73. Available at: [Link](#)
- Barbany, J. (2002). Fisiología del ejercicio físico del entrenamiento. Paidotribo. Primera edición. 80 – 82. Available at: [Link](#)
- Bernabeu, T. D, (2007) Efectos del ruido sobre la salud. Plataforma Española de Asociaciones Contra el Ruido y las actividades molestas. PEACRAM. Available at: [Link](#)
- Cabrera, M., Marquez, J. (2014). Diseño y construcción de un chasis tubular para un vehículo de competición tipo supercrosscar. (Tesis de pregrado). Available at: [Link](#)
- Anguita, J. C., Labrador, J. R., Campos, J. D., Casas Anguita, J., Repullo Labrador, J., & Donado Campos, J. (2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). Atención primaria, 31(8), 527-538. Available at: [Link](#).
- CEDE. (2002). Carrocerías y bastidores: Tipos, características, procesos de fabricación, elementos que los componen y métodos de ensamblado y unión de éstos. 1. Available at: [Link](#).
- Chiner, D. M. (2004) Laboratorio de Ergonomía P. 35-44 620.82 CH45. Alfaomega
- Dane. (2007). Glosario de términos encuesta de transporte urbano de pasajeros - ETUP. Available at: [Link](#).
- Delgado Macías, P. L., & Benavides Liévano, J. A. (2016). Evaluación de los comportamientos ambientales en la prestación del servicio de Bicitaxis para la ruta Balmoral-Galicia en la localidad de Ciudad Bolívar (Tesis de pregrado). Available at: [Link](#).
- Departamento de seguridad vial (2017). Guantes para motociclistas. Unión internacional para la defensa de los motociclistas. Available at: [Link](#)
- DGT. (2018) Tráfico y seguridad vial. Dirección general de tránsito. Available at: [Link](#)
- Dueñas, J. (2017). Transporte, movilidad y ciudad: un diálogo necesario en beneficio del desarrollo urbano inclusivo y sostenible. Cultura y Sociedad, Available at: [Link](#).

- Drela, M. (2014). Flight Vehicle Aerodynamics. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press. Available at: [Link](#)
- EDP. (2005). Herrajes para formación de cadenas en líneas aéreas AT. España Available at: [Link](#).
- Ergonomía y psicología aplicada: Manual para la formación del especialista. Lex Nova. Décima edición. 286-289. Available at: [Link](#)
- Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. (2016). Laboratorio de condiciones de trabajo. Antropometría, 1-20 Available at: [Link](#).
- Frimat, P., Amphoux, M., & Chamoux, A. (2003). Interprétation et mesure de la fréquence cardiaque. Revue Médecine du Travail XV (4), 147-165.
- Geoffrey, D. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. Occupational Medicine. 190 – 199. Available at: [Link](#)
- Gómez, R. J., Edir. M., Edir D. S., Hernán V. B. (2008). La importancia de los ajustes de la bicicleta en la prevención de las lesiones en el ciclismo: aplicaciones prácticas. Revista Andaluza de Medicina del Deporte. 1(2), 49-87. Available at: [Link](#)
- Gould, M., Poulter., D., Helman, S., Wann. J. (2012). Judgments of approach speed for motorcycles across different lighting levels and the effect of an improved tri-headlight configuration. Accid Anal Prev. 48- 341. Available at: [Link](#)
- Gould, M., Poulter., D., Helman, S., Wann. J. (2012). Errors in judging the approach rate of motorcycles in nighttime conditions and the effect of an improved lighting configuration. Accid Anal Prev. 45:432. Available at: [Link](#)
- Guio, S. C., & Campos. R. A. (2017). Estrategias de intervención de riesgos en materia de seguridad y salud en el trabajo del sector informal de Bicitaxis en suba - caso asoprobisuba (Tesis de pregrado). Available at: [Link](#).
- Gutiérrez, A. (2012). ¿Qué es la movilidad? Elementos para (re) construir las definiciones básicas del campo del transporte. Bitácora Urbano-Territorial, 21(2), 3. Available at: [Link](#).
- IDEAM. (S.F.) Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos, Bogotá. Available at: [Link](#)
- ITEA, Instituto Técnico de la Estructura del Acero. (s.f.). Estructuras tubulares. Available at: [Link](#)
- Kee, D., & Karwowski, W. (2001). The boundaries for joint angles of isocomfort for sitting and standing males based on perceived comfort of static joint postures. Ergonomics, 44(6). 614-648. Available at: [Link](#)
- Kodak's ergonomic design for people at work. (2004). Wiley. Available at: [Link](#)
- Llaneza, F. (2007). Ergonomía y psicología aplicada: Manual para la formación del especialista. Lex Nova. Décima edición . 286-289. Available at: [Link](#)
- Luttmann, A., Jäger, M., Griefahn, B., Caffier, G., Liebers, F., & World Health Organization. (2004). Prevención de trastornos musculoesqueléticos en el lugar e trabajo. Serie protección de la salud de los trabajadores. 5. 1- 40. Available at: [Link](#).
- MAD. (2006). Sistemas de suspensión: eje delantero y eje trasero, tipos, constitución, características y funcionamiento. 1-13. Available at: [Link](#).
- Manual de seguridad vial para decisores y profesionales. (2017). Seguridad de los vehículos de motor de dos y tres ruedas. Organización Mundial de la Salud. [Link](#).
- Martin, Z., & Panero, J. (2010) Las dimensiones humanas en los espacios interiores,

Estándares antropométricos. Available at: [A Link](#)

Mast, J., Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 604-614. Available at: [Link](#).

Menard, M., Domalain, M., Decatoire, A., & Lacouture, P. (2016). Influence of saddle setback on pedalling technique effectiveness in cycling. *Sports biomechanics*, 15(4), 462-472. Available at: [Link](#)

Mercado, C.J. (2012). Viabilidad Técnica y Financiera de la Utilización del Bicitaxi como medio de transporte público en el marco del Sistema Integrado de Transporte

Ministerio de transporte. (2018). Resolución 3256 de 2018, 6-9. Available at: [Link](#).

Público en Bogotá D.C. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Available at: [Link](#).

Nielsen, M. E. (2010). Notable people in psychology of religion. Available at: [Link](#)

Norma técnica colombiana 4533, (2017), Cascos protectores y sus visores para conductores y acompañantes de motocicletas, motociclos y motocarros. Icontec Internacional. Bogotá, Colombia. Available at: [Link](#)

Norma técnica colombiana 5286, (2014), Triciclos, requisitos de seguridad y métodos de ensayo. Icontec Internacional. Bogotá, Colombia. Available at: <https://www.icontec.org/>

Norma técnica colombiana 5655, (2008), Principios para el diseño ergonómico de sistemas de trabajo Icontec Internacional. Bogotá, Colombia. Available at: <https://www.icontec.org/>

Norma técnica colombiana 7636, (2009), Bells for bicycles and mopeds — Technical specifications. Icontec Internacional. Bogotá, Colombia. Available at [Link](#)

Norma NTC Av009. (2007). Calidad en la prestación del servicio de transporte turístico terrestre automotor requisitos normativos. ICONTEC Colombia. Available at [Link](#)

Norma ISO 5775-1, ISO 5775-2. (2014). specifies the designations and dimensions for the following pneumatic bicycle tyres. ISO 5775, Available at: [Link](#)

Odetto, A.R. (2001). Cadenas de transmisión. *Mecánica eléctrica*. 1-10. Available at: [Link](#).

OMS, Fundación, F. I. A. TWB. (2009). Cinturones de seguridad y sistemas de retención infantil: un manual de seguridad vial para decisores y profesionales, Londres.

Organización Internacional del Trabajo. (2001). Factores ambientales en el lugar de trabajo, 1 Available at: [Link](#).

Pai C-W. Motorcycle right-of-way accidents – a literature review. *Accid Anal Prev.* (2011);43(3):971–82. [Link](#)

Prada, I. (2008). El papel de la aerodinámica en el diseño de los automóviles convencionales. Fundación Española para la Investigación, Desarrollo y Aplicación de Materiales Compuestos-EADS. Available at: [Link](#)

Pequini, S. M., Boueri F., José J. (2005). Ergonomia aplicada ao design de produtos: um estudo de caso sobre o design de bicicleta (Tesis doctoral). Universidade de São Paulo. Available at: [Link](#).

Rao, R. (2002). Eco-friendly rickshaws boost incomes. *Appropriate Technology*, 29(2), 45. Available at: [Link](#).

Reglamentos de la CEPE/ONU, Reglamento 81. (1958) Retrocisosores motocicletas, ciclomotores y similares. United Nations Economic Commission for Europe. [Link](#)

Resolución 1080, (2019), Reglamento técnica de cascos protectores para el uso de motocicletas, cuatrimotos, motocarros, moto triciclos, y similares. Ministerio de transporte. Available at: [Link](#)

Resolución 1949, (2009), Reglamento técnico aplicable a cinturones de seguridad para uso en vehículos automotores, que se fabriquen, importen o comercialicen en Colombia. Ministerio de comercio, industria y turismo. [Link](#)

Resolución 3256, (2018), Autoriza la prestación del servicio público de transporte de pasajeros en triciclos o tricimoviles no motorizados y tricimoviles con pedaleo asistido. Ministerio de transporte. Available at: [Link](#)

Resolución 5543, (2013), Reglamento técnico relativo a los acristalamientos de seguridad, excepto los acristalamientos resistentes a las balas, tanto de fabricación nacional como importados. Ministerio de comercio, industria y turismo. Available at: [Link](#)

Rincones Ortiz, A. P., & Castro Calderón, E. (2016). Prevención de desórdenes musculoesqueléticos de origen laboral en Colombia: un estudio de futuro para el año 2025. *Revista Ciencias de la Salud*, 14(spe), 45-56. Available at: [Link](#).

Rosas, M.M. (2009). *Introducción al curso de la anatomía y la fisiología*. Prentice Hall.

Secretaria Distrital de Ambiente (2019). Mapa de calidad del aire de Bogotá. índice bogotano de calidad del aire. Available at: [Link](#)

Schiffman, L. & Kanuk, L. (2005) *Comportamiento del consumidor*. Pearson. Octava Edición. 37-39. Available at: [Link](#)

Secretaría Distrital de Movilidad (2019). *Estudio de caracterización del Bicitaxismo en Bogotá 2019*.

Shigley, J. E., Nisbett, J. K., & Budynas, R. G. (2019). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw-Hill Interamericana.

Sprocket.(2019). *Diccionario Collins*. Available at: [Link](#).

Teoh ER. (2011). Effectiveness of antilock braking systems in reducing motorcycle fatal crash rates. *Traffic Inj Prev. Edi.* 12(2). 169–73. Available at: [Link](#)

Universidad Catolica de Chile. (2016). *Caminar, pedalear y conducir: convivencia en la ciudad*. Innovación Pública. Available at: [Link](#).

Veeduría Distrital. (2014). *Cómo Avanza el Distrito en Movilidad 2014. Recomendaciones para el 2015*. 62-65. Available at: [Link](#).

Valencia, A. (2000) *Principios Sobre Semáforos*. Available at: [Link](#)

Villalba, H. (2008). *Mecanismos de transmisión, Tecnología Industrial*, 1-9. Available at: [Link](#).

Wilhide, E., & Glancey, J. (2017). *Diseño. toda la historia*. Blume. Available at: [Link](#)